

**НАВОИЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ
НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ
ГОРНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ**

Кафедра «Горное дело»

Направление бакалавриата - 5540200 «Горное дело»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к научно-исследовательской выпускной квалификационной работе

на тему:

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗРЫВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОХОДКИ
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ОСЛАБЛЕНИЕМ ПРОЧНОСТИ КРЕПКИХ
ГОРНЫХ ПОРОД РАСТВОРАМИ ПАВ**

Выпускник:

Жуманов А.И

Руководитель:

проф. Норов Ю.Д.

Зав. кафедрой:

к.т.н. Тухташев А.Б.

НАВОИЙ – 2012 г.
НАВОИЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ
НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

**Факультет: «Горный» Кафедра: «Горное дело»
Направление бакалавриата – 5540200 «Горное дело»**

«УТВЕРЖДАЮ»
зав. кафедрой _____
« ____ » _____ 2012 г.

ЗАДАНИЕ

**к выпускной квалификационной работе бакалавра
Жуманова Алишера Исматилаевича**

Тема работы: Исследование взрывной технологии проходки горизонтальных подземных горных выработок предварительным ослаблением прочности крепких горных пород растворами ПАВ

1. Утверждена приказом по институту от « ____ » _____ 2012 г. № _____

2. Срок сдачи студентом законченной работы « ____ » _____ 2012 г.

3. Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов) 1. Анализ состояния вопроса химического способа ослабления прочности массива горных пород при проведении подземных горных выработок. цель и задачи исследований; 2. Комплексное исследование физико-химических свойств массива крепких песчаных горных пород; 3. Исследование изменения прочности крепких песчаных горных пород химическим методом с использованием поверхностно-активных веществ.

4. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

№	Наименование этапов работы	Срок выполнения работы	Примечание
1.	Анализ состояния вопроса химического способа ослабления прочности массива горных пород при проведении подземных горных выработок цель и задачи исследований		
2.	Комплексное исследование физико-химических свойств массива крепких песчаных горных пород		
3.	Исследование изменения прочности крепких песчаных горных пород химическим методом с использованием поверхностно-активных веществ		
4.	Заключение		
5.	Оформление магистерской диссертации		

Дата выдачи задания: _____

Студент-выпускник:

А.И.Жуманов

Руководитель:

проф. Ю.Д.Норов

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ХИМИЧЕСКОГО СПОСОБА ОСЛАБЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	7
1.1. Анализ литературных данных, опубликованных способов ослабления прочности массива горных пород при проведении подземных горных выработок	13
1.2. Теоретическое обоснование возможности дезагрегации крепких песчаников при проведении подземных горных выработок.....	17
1.2.1. Физико-химическое воздействие растворов поверхностно-активных веществ на массив горных пород для ослабления их прочности.....	17
1.2.2. Дезагрегация массива горных пород из крепких песчаников химическим методом с использованием поверхностно-активных веществ	24
1.3. Цель и задачи исследований.....	32
2. КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАССИВА КРЕПКИХ ПЕСЧАНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД.....	33
2.1. Анализ химического и петрографического состава крепких песчаников	33
2.2. Исследование физико-механических и технологических свойств массива крепких песчаных горных пород.....	35
2.3. Комплексное исследование фильтрационных свойств массива крепких песчаных горных пород	36
Выводы по главе 2	39
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ КРЕПКИХ ПЕСЧАНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ	40

3.1. Методика комплексного исследования ослабления прочности массива крепких песчаных горных пород химическим методом с использованием различных типов растворов поверхностно-активных веществ.....	40
3.2. Исследование дезагрегации массива крепких песчаных горных пород химическим методом с использованием раствора карбамида	46
3.3. Исследование насыщения массива крепких песчаных горных пород химически активными растворами	48
3.4. Исследование изменения прочности массива крепких песчаных горных пород химическим методом в режиме свободного насыщения	50
3.5. Исследование изменения прочности массива крепких песчаных горных пород химическим методом в режиме напорного нагнетания	53
3.6. Выбор химически активных реагентов	55
3.7. Разработка рекомендации по применению химически активных растворов для ослабления прочности крепких песчаных горных пород....	62
Выводы по главе 3	64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	Ошибка! Закладка не определена.
ЛИТЕРАТУРА	65

ВВЕДЕНИЕ

В основных направлениях экономического развития Республики Узбекистан предусмотрен подъем экономики страны, главным образом, за счет ускорения научно-технического прогресса и широкого внедрения ресурсосберегающих технологий. Поиск эффективных путей снижения энергоемкости разрушения массива горных пород является одним из главных направлений современных научных исследований в горной науке.

При выполнении поставленной задачи особое место отводится горнодобывающей промышленности, в особенности – разработка месторождений полезных ископаемых подземным способом.

В настоящее время проблемы повышения эффективности подземных горных работ решаются путем создания и внедрения различных способов направленного воздействия на состояние массива с целью снижения его механической прочности.

Одним из современных способов воздействия на горный массив крепких песчаных горных пород является их предварительное ослабление прочности или снижение физико-механических свойств массива. Определенный интерес представляет применение химического способа воздействия на массив крепких песчаных горных пород для снижения их прочности за счет воздействия растворов поверхностно-активных веществ и электролитов, обеспечивающих снижение удельного расхода бурения и взрывчатых веществ, решение которых является актуальной задачей горного производства, имеющей важное народно-хозяйственное значение.

Цель работы - разработка способа ослабления прочности крепких песчаных горных пород химическим методом с применением раствора поверхностно-активных веществ (ПАВ), повышающих эффективность проведения подземных горных выработок и обеспечивающих снижение удельного расхода бурения и взрывчатых веществ (ВВ).

1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ХИМИЧЕСКОГО СПОСОБА ОСЛАБЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Физика-механические свойства массива крепких песчаных горных пород

Изучение горных пород по их физическим свойствам обусловливается наличием тесной связи между физическими, химическими, физико-химическими свойствами пород.

Под физическим свойством горной породы понимают ее специфическое поведение при воздействии на нее определенных физических полей или тел.

Основными физическими свойствами являются: пористость, влажность, проницаемость, прочность и др., характер и скорость изменение которых, зависит от условий их образования, минерального состава, структуры, текстуры, интенсивности воздействия, изменяющих физические свойства горных пород.

Анализ физико-механических свойств различных горных пород показал, что весьма часто породы одного и того же наименования существенно отличаются по прочностным и хрупко-пластическим свойствам. Так предел прочности при сжатии алевролитов колеблется от 50 до 104 МПа, известняков от 5 до 180 МПа, для гранитов от 40 до 300 МПа. Прочность при растяжении для песчаников от 0,4 до 35 МПа, для известняков от 0,4 до 20 МПа, для гранитов от 4 до 30 МПа.

Основными петрографическими факторами, влияющими на свойства пород, являются: минералогический состав (содержание в породе основных компонентов и связующей массы цемента); зернистость (колебания в размерах зерен); пористость (общая, открытая или сообщающаяся); морфология зерен; тип цемента, степень выветривания и вторичные изменения; примеси, включения, конкреции, структура и текстура; трещиноватость (особенно в массиве) /16-23/.

Осадочные породы. Минеральное вещество осадочных горных пород является продуктом механической дезинтеграции, окисления и гидролизе вещества материнских пород, а также химического и биохимического осаждения: минеральных солей из природных водных растворов. В составе продуктов механической дезинтеграции преобладают минералы каркасной структуры (кварц, полевые шпаты), а также обломки прочных и стойких против агентов выветривания горных пород.

Продукты механической дезинтеграции составляют основную массу обломочных горных пород. Вновь образованные компоненты осадочных пород представлены в основном минералами слоистой (группа глинистых минералов, хлориты и др.) островной (карбонаты, некоторые сульфаты) и координационной структур (галит, силвин).

В силу возрастания в составе аутигенных (особенно глинистых) минералов вызывает снижение показателей прочности и повышение деформируемости горной породы.

Следует заметить, что с изменением процентного соотношения аутогенных компонентов в составе осадочных пород, как правило, всегда происходят существенные изменения физических характеристик горных пород. Установлено, что самыми распространенными среди осадочных пород являются глины и аргиллиты, на втором месте стоят пески и песчаники, на третьем карбонатные породы (преимущественно известняки).

Песчаники - наиболее важные и широко распространенные осадочные породы. При появлении в них некоторого количества гальки они приближаются к конгломератам, а в случае присутствия значительного количества глинистого материала образуют переходы к глинистым сланцам /24-29/.

В описании обломочной породы обычно выделяют помимо обломочного зерна и цемент. Под названием "цемент" принято понимать содержащийся в обломочной породе аутогенный или тонкообломочный материал, скрепляющий между собой более крупные зерна.

Обломочные породы с кремнистым цементом наиболее прочны и устойчивы против выветривания. Сравнительно высокой прочностью характеризуются породы с карбонатными или железистым цементом. Поэтому обломочные породы, сцементированные кремнистым, карбонатным или железистым материалом и имеющие массивное сложение, относят к скальным породам. Конгломераты, песчаники и алевролиты с глинистым и гипсовым цементом относятся к полускальным породам; они имеют пониженную прочность и водонеустойчивы.

Прочностные свойства сцементированных обломочных пород в значительной степени определяются также соотношением обломочного и цементирующего материала, типом цементации и строением цемента.

Количество цементирующего материала может изменяться в породе в широких пределах - от единиц до нескольких десятков процентов. Чем больше цементирующего материала, тем прочнее, как правило, цементация породы. По отношению обломков и цементирующего материала выделяют следующие типы цементов /24-30/.

Базальный – обломки заключены в цементирующем материале (от 30 до 50% всей массы породы) и не соприкасаются друг с другом.

Выполнения пор – количество цементирующего вещества колеблется в значительных пределах в зависимости от объема поровых пород.

Планочный – количество цемента по сравнению с массой обломкой невелико (обычно менее 10% всего объема породы). Цементирующий материал покрывает тонким слоем все обломки, связывая их между собой; часть порового пространства между зернами остается незаполненной.

Контактный – количество цементирующего вещества породе очень мало и развит лишь в местах соприкосновений обломков, поры остаются незаполненными.

Цементирующий материал может быть распределен в породе равномерно или неравномерно. В последнем случае в одной и той же породе

на различных ее участках наблюдаются различные типы цементации (например, базальный и поровый).

Межзеренные связи в горных породах определяются физико-механическими свойствами цемента, заполняющего межзеренное пространство, условиями контакта зерен друг с другом и с цементом. При наличии базального цемента породы отличаются повышенной плотностью и, соответственно, пониженной пористостью, относительно однородным строением. Под действием разрушающей нагрузки эти породы обычно капливают значительное количество энергии упругих деформаций, что приводит к хрупкому упругообразному разрушению.

Типы цемента и соответствующая им прочность показаны в табл. 1.1.

Существенное влияние на прочность породы оказывает строение вещества. Цемент может быть аморфным или кристаллическим. Аморфные цементы обычно мономинеральные, чаще всего они сложены опалом или фосфатом, кристаллические цементы образуют кальций, гипс, кварц и некоторые другие минералы.

Таблица 1.1

Зависимость прочности цементации от типа цемента

Тип цемента	Прочность цементации
Коррозионный	Цементация очень прочная.
Базальный	Цементация прочная.
Поровый	Прочность цементации может быть различной и зависит от объема поровых пространств
Контактный	Цементация непрочная

Однако, с глубиной наблюдается уплотнение породы, вплоть до соприкосновения обломочных зерен между собой. Одновременно с уплотнением песчаник становится крупнозернистым, в результате перекристаллизации кварца.

Если на глубине 450-530 м основной тип базальный, то на глубине 530 м - он поровый, на глубине 800-900 м порово-контактный, на глубине 1240 м - контактовый и глубже наблюдается вдавливание зерен одно в другое. Одновременно с изменением типа цементации меняется и состав цемента: от глинистого (глубина 450-530 м) до кварцевого (глубина 1400 м).

Кроме того, на прочность обломочных пород заметное влияние оказывает величина зерен. Как правило, породы, состоящие из более мелких зерен, имеют большую прочность, чем породы такого же минерального состава, но более крупнозернистой структуры. Например, гравелистые песчаники $\bar{\sigma}_{сжс}=50-60$ МПа, мелкозернистые песчаники $\bar{\sigma}_{сжс}=100-110$ МПа. Среди обломочных сцементированных пород наиболее устойчивым и прочным являются равномерно-среднезернистые и мелкозернистые песчаники, а также алевролиты. Песчаники грубо- и крупнозернистой структуры менее прочны и выветриваются и разрушаются значительно легче. Однако следует заметить, что прямой математической зависимости, связывающей эти свойства не существует /16/.

Известно, что в одной и той же породе как размеры минеральных зерен, так и характер скоплений цементирующего вещества и их распределение могут изменяться в весьма широких пределах. Исходя из этого, горная порода может рассматриваться как неоднородная среда. С неоднородностью состава и строения пород связана их пространственная неравнопрочность, т.е. неоднородность по упругим, пластическим, прочностным и другим физико-механическим свойствам /19,21,24/.

Известно, что горная порода представляет собой сложную деформированную систему, отдельные звенья которой, в виде минеральных зерен, скоплений цементирующего вещества и других элементарных образований могут быть распределены в объеме породы различным образом. Это распределение допускает существование в породе пустот и микропустот, называемых пораами, определяющих компактность (сплоченность) ее

структуры, а также трещин и микротрещин, с интенсивностью развития которых связывается степень разрушения породы /30-36/.

Одним из наиболее изученных физических параметров горных пород является пористость.

Пористость пород обусловлена наличием мелких пустот, занимающих пространство между отдельными зернами.

Величине пористости определяется коэффициентом пористости, выражающим отношение объема всех пор к общему породе.

Различают два вида пористости: абсолютную и эффективную. **Абсолютная пористость** определяется объемом всех содержащихся в породе пор. **Эффективная пористость** представляет собой объем лишь сообщающихся между собой пор, по которым возможно перемещение в порах воды, нефти и газа. С эффективной пористостью тесно связана проницаемость пород – способность их пропускать через себя жидкости или газа при наличии перепада давлений. Проницаемость зависит от свойства породы, так и от свойства жидкости или газа. Так, например, на проницаемость песков сильно влияют глинистые минералы.

Разные минералы глини неодинаково влияют на фильтрующие способности песчаных пород, в которых содержатся глины. Наибольшее влияние на проницаемость пород оказывают глины монтмориллонитовой группы. Так содержание 2% монтмориллонитовой глины в крупнозернистых песках снижает коэффициент проницаемости в 10 раз, содержание 3% этих глини уменьшает проницаемость в 30 раз. При содержании в песках 6-9% монтмориллонита породы практически связывается непроницаемыми.

Пески с содержанием каолиновых глини от 2-15% являются все же хорошо фильтрующими породами. Известно, что монтмориллонит обладает способностью сильно набухать, а также адсорбировать. Монтмориллонит при изменениях содержания воды способен раздвигать и сдвигать расстояние между алюмокремниевыми пакетами его кристаллографической решетки /37-40/.

Рассматриваемое зерно, стремясь деформироваться под действием внешней силы, будет оказывать влияние на соседние зерна, и заставлять их вращаться, а в случае возможности (наличия пустот) перемещаться в направлении деформирующей силы. Этому препятствуют структурные связи, силы трения и статическое сопротивление зерен изменению первоначального положения. В случае преодоления этих сил наиболее прочные и мелкие зерна могут сохраняться, а более крупные и хрупкие дробятся. При этом могут происходить процессы пластинообразования, двойникования и др.

Таким образом, минеральное зерно вначале описываемого процесса оказывается в весьма сложном напряженном состоянии, причем в таком, которое препятствует развитию сдвигов. В этом и заключается причина высокой начальной прочности горных пород.

Переориентация и упорядочение расположения минеральных зерен, а также нарушение структурных связей должны облегчить деформацию породы. Таковая природа ослабления прочности массива крепких песчаных пород в процессе пластических деформаций /42, 43/.

1.1. Анализ литературных данных, опубликованных способов ослабления прочности массива горных пород при проведении подземных горных выработок

Исследованиями установлено, что поиски технологических путей снижения энергоемкости разрушения массива горных пород, путем глубокого изучения закономерностей механизма их разрушения, открывающих пути энергоемкости, являются главным направлением современных исследований.

В настоящее время существует следующая классификация способов ослабления прочности массива крепких горных пород, которая приведена на рис. 1.1. В данной классификации перечислены применяемые в горной промышленности и находящиеся в стадии разработки способы ослаблений.

При выборе оптимального способа воздействия необходимо задаваться граничными условиями, учитывая свойства и структуру горной породы конечный желаемый результат.

Механические способы включают разрушение крепких горных пород взрывом, комбайнами, струей воды /12, 43-47/. При взрывном способе механические усилия создаются за счет ударных волн и волн напряжений, приводящих к росту и распространению трещин.

В случае комбайновой выемки пород исполнительные органы производят динамическое воздействие: шарошечные, ударно-поворотные, ударно-скалывающие, при этом разрушение крепких горных пород происходит путем сжатия и скола. Создание специальными исполнительными органами дополнительных поверхностей ослабления в горном массиве (врубы, щели) способствует повышению эффективности разрушения породы и снижению энергоемкости этого процесса, основные данные которых приведены в работах /9, 12, 19, 43-50/.

Гидравлический способ ослабления массива путем нагнетания воды под высоким давлением широко применяется при добыче угольных месторождений, которые применяются гораздо реже. В основе разрушения горной породы струей воды лежат напряжения, возникающие в породе вследствие большой кинетической энергии струи, подобной энергии удара, и приводящие к образованию серий микротрещин.

Ослабление горного массива взрывом широко применяется на открытых горных работах при рыхлении вскрышных и добычных уступов. Однако в настоящее время способ взрывного ослабления горного массива вытесняется более прогрессивными: гидравлическим или взрывогидравлическим.

Механические способы позволяют получить снижение прочностных показателей на 20-40%, но при этом требуются значительные энергетические затраты.

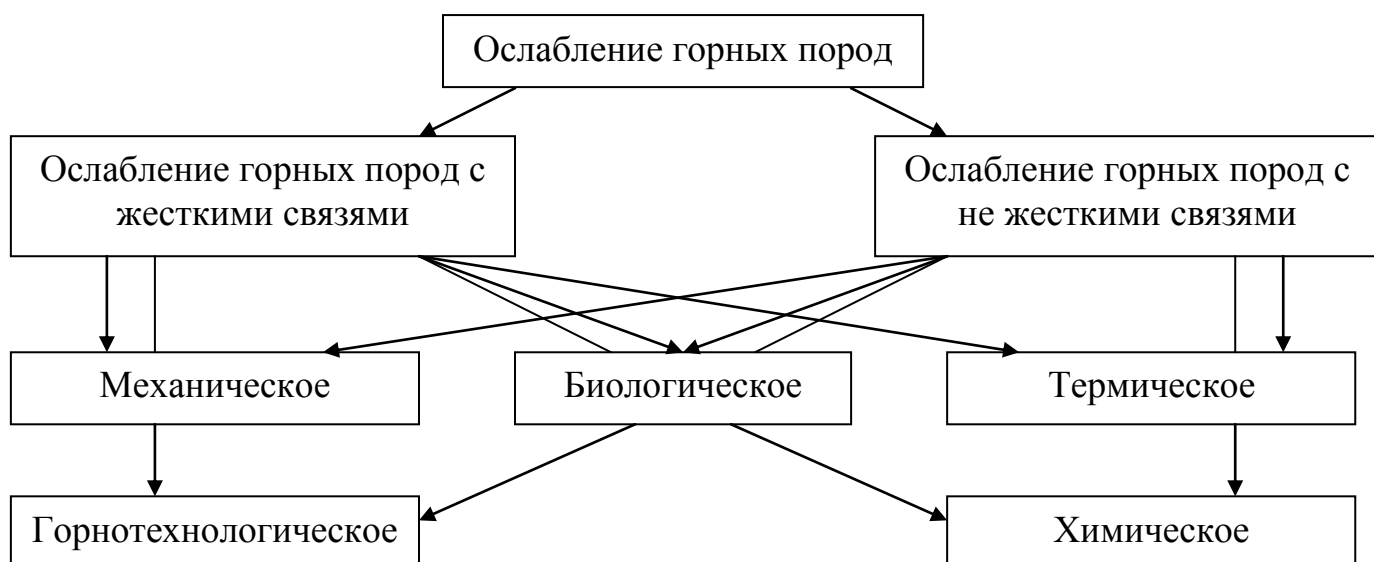


Рис 1.1. Классификация способов ослабления прочности крепких горных пород

Из термических способов следует отметить ослабление горного массива путем образования трещин за счет различных коэффициентов расширения (сжатия) кристаллов, слагающих породу. Известны работы /45, 51, 52/ по снижению сопротивляемости разрушению горных пород с помощью охлаждения, также известны /53-57/ ослабления прочности массива горных пород высокотемпературными теплоносителями, токами высокой частоты. Исследованиями установлено, что избирательное поглощение энергии отдельными минералами, химическим, фазовым и другими превращениями, которые приводят к снижению прочности горного массива вплоть до полного его разрушения зерен или ослаблению межкристаллических прочностных связей.

Многие исследователи /19,58,59/ склоняются в сторону способов разрушения массива горных пород, основанных на использовании высококонцентрированных потоков лазерного излучения.

В настоящее время ведутся работы по созданию проходческих буровзрывных машин с лазерным исполнительным органом, результатом использования которых являются: ослабление прочности массива горных

пород за счет термических напряжений; за счет динамических эффектов при воздействии на нее импульсными лазерами; прорезание щелей в горном массиве лазерами непрерывного действия; комбинирование этих видов лазерного воздействия с механическим позволяет добиться более чем десятикратного уменьшения прочности массива горных пород.

Биологические способы ослабления прочности массива горных пород основаны на полном и быстром бактериальном растворении таких минералов как халькозин, ковеллин, борнит, сульфидов мышьяка, цинка и никеля. Для слабосвязанных зернистых пород цементирующее вещество, определяющее прочность породы, может быть разложено микроорганизмами, выделяющими продукты жизнедеятельности, которые придают горной массе повышенную подвижность. Биологический способ /20, 60/ предусматривает длительную региональную обработку массива, требует условий, невыполнение которых ведет к гибели бактерий.

На горно-технологические способы ослабления горного массива влияет: его состояние, глубина залегания, газонасыщенность, наличие в угольном пласте или контакте угля с породой более слабых прослоек и кливажа, а также технологические параметры, в связи с этим /60/ область применения этого способа ограничена.

Химические способы ослабления прочности горного массива /61-65/ включают применение поверхностно-активных веществ и электролитов в качестве понизителей прочности, а также растворение цементирующего вещества кислотами, которые снижают энергоемкость разрушения. Расчеты показывают /61/, что энергозатраты на химический, термический и механический способы ослабления прочности массива горных пород составляет соответственно $10-100 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$; $250-350 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$; $400-500 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$.

1.2. Теоретическое обоснование возможности дезагрегации крепких песчаников при проведении подземных горных выработок

1.2.1. Физико-химическое воздействие растворов поверхностно-активных веществ на массив горных пород для ослабления их прочности

Физико-химическое ослабление прочности массива горных пород - процесс, при котором массив изменяет свои свойства в сторону снижения показатели прочности при воздействии водных растворов поверхностно активных веществ (ПАВ) и электролитов за счет физико-химических превращений взаимодействующих фаз в горных породах.

Явление понижения прочности твердых тел в присутствии ПАВ было обнаружено Ребиндером /66-68/ и получило название эффекта Ребиндера.

ПАВ это вещества с асимметрической молекулярной структурой, молекулы которых содержат одну или несколько гидрофильных групп и один или несколько гидрофобных радикалов. Такая структура, называемая дифильной, обуславливает поверхностную (адсорбционную) активность ПАВ, т.е. их способность концентрироваться на межфазных поверхностях раздела фаз (адсорбироваться), изменяя их свойства.

Эффект Ребиндера заключается в том, что при физико-химическом взаимодействии растворов ПАВ с поверхностью горной породы наблюдается снижение их прочностных свойств за счет адсорбции ПАВ на поверхности развивающихся микротрещин. Наибольший адсорбционный эффект наблюдался в том случае, когда возникающие в процессе разрушения новые поверхности успевают покрываться адсорбционными слоями /64, 65/. Процессы адсорбции из растворов ПАВ на границе твердое (адсорбент) - жидкость обуславливаются интенсивностью молекулярных силовых полей твердой и жидкой фаз на границе раздела. Различие в интенсивности силовых полей, т.е. разность полярностей двух фаз (растворителя и адсорбента), является причиной возникновения свободной энергии σ на границе, разделяющей эти фазы. Чем больше разность полярностей, σ ,

следовательно, и величина $-b$, тем сильнее выражена тенденция к ее уменьшению.

Для твердых адсорбентов адсорбция имеет место на всей поверхности капилляров, трещин, пор, обычно превышающей во много раз величину видимой внешней поверхности. Процесс изменения концентрации в поверхностном слое, обусловленный молекулярными вандерваальсовыми силами, называется физической адсорбцией. В том случае, когда происходит образование поверхностного соединения в результате действия химических сил, процесс носит название хемосорбции.

Однако, нельзя говорить о резком разграничивании физических и химических сил. Тем не менее, в большинстве случаев природу явления можно установить, исследовав величину теплового эффекта процесса. При уменьшении свободной поверхностной энергии в процессе адсорбции выделяется теплота адсорбции. Исследованиями [43, 70, 71] установлено, что при хемосорбции выделяется значительно большее количество тепла, чем в процессе физической адсорбции.

Адсорбция на поверхности раздела жидкость-твердое тело описывается уравнением Гиббса:

$$\Gamma = \frac{a}{RT} \left(- \frac{\partial b}{\partial a} \right)_m, \text{ мол / см}^2 \quad (1.1)$$

где Γ – избыток вещества в мол на 1 м^2 поверхности раздела; a – активность растворенного вещества в растворе; для разбавленных растворов можно принять a равна концентрации c ; R - газовая постоянная, равная $8,31 \cdot 10^7$ эрг/моль·град ($8,31 \cdot 10^3$ Дж/кмоль·град); T - абсолютная температура, град.

Это фундаментальное уравнение, являясь приложением второго начала термодинамики к поверхностям раздела фаз, дает количественное выражение для распределения растворенного вещества между объемом и поверхностным слоем в результате самопроизвольных процессов, приводящих к уменьшению свободной поверхностной энергии.

Для поверхностно-активных веществ $\left(-\frac{\partial b}{\partial a}\right) < 0$, следовательно, $\Gamma > 0$, т.е. адсорбция положительна. Величина производной, взятая с отрицательным знаком, называется поверхностной активностью (q)

$$q = -\frac{\partial b}{\partial c}, \quad (1.2)$$

Исследованиями /72-74/ установлено, что поверхностная активность является мерой способности растворенного вещества понижать поверхностное натяжение и переходить из объема в поверхностный слой, т.е. адсорбироваться.

В процессе разрушения горной породы в ней на поверхности во внутренних частях появляются постепенно возрастающие трещины. Если разрушение происходит в вакууме, то эти трещины могут вновь смыкаться при удалении разрушающей силы и тело восстанавливается, если не произошло полного разделения его частей.

Согласно энергетической трактовке, эффект ослабления массива прочности горных пород характеризуется понижением работы на образование новых поверхностей твердого тела в процессе деформации и разрушения под влиянием формирующегося на них адсорбционного слоя.

По силовой трактовке проникновение адсорбционного слоя по поверхностям развивающего усилия, пропорционального двумерному давлению, т.е. понижения поверхностной энергии вдоль границы слоя (сферического препятствия).

Исследованиями /67, 68/ установлено, что все виды разрушения горных пород сводятся к следующей схеме: в процессе механического разрушения массива напряжения, возникающие в породе, приводят не только к разрушению поверхностного слоя, но и к образованию большой сети макро и микротрещин в более глубоких слоях, т.е. к образованию зоны нарушения, так называемой зоны предразрушения массива. Эффект адсорбционного понижения прочности связан с тем, в какой мере адсорбционные слои ПАВ из окружающей среды успевают проникнуть в развивающиеся дефекты,

покрывая образующиеся в них новые поверхности твердого тела. С этим связаны и наблюдения, показывающие, что с возрастанием размеров адсорбирующихся молекул, когда их поверхностная активность в обычном смысле, т.е. адсорбция на свободных поверхностях твердого тела продолжает возрастать, адсорбционное понижение прочности может исчезнуть: размеры таких молекул уже не позволяют им проникнуть в устья раскрывающихся дефектов. По тем же причинам адсорбционное понижение прочности наблюдается лишь в условиях одновременного сочетания действия напряженного состояния, способствующего постепенному развитию дефектов, и наличия адсорбирующихся веществ с достаточной подвижностью молекул или атомов. ПАВ весьма малых размеров, например, поверхностно-активные металлы вызывают адсорбционное понижение прочности и облегчение деформации путем внутренней адсорбции на зародышевых поверхностях, развивающихся в объеме деформируемого тела.

Сильное адсорбционное понижение прочности горного массива может наблюдаться и в отсутствии внешних условий - под воздействием одних только, иногда незначительных, внутренних напряжений или даже в ненапряженном состоянии - путем самопроизвольного диспергирования при понижении поверхностной энергии до очень низких (предельный случай очень сильной поверхностной активности).

При рассмотрении ряда физико-химических факторов, присущих процессам адсорбционного понижения прочности, можно выделить следующие необходимые группы: химическое средство твердого тела и поверхностно-активной среды; условия приложения нагрузки, т.е. его дефектность.

Механическая прочность адсорбционного слоя близка к прочности идеального кристалла /42/. Поэтому можно сделать вывод: раз образовавшись трещинообразное нарушение должно существовать достаточно долго (если успели произойти адсорбция, диффузия и т.д.). Исследованиями /66-69, 72-74/ установлено, что большая часть понижения

поверхностной энергии приходится на мономолекулярную адсорбцию, то ПАВ способствует поддержанию нарушенной зоны в нарушенном состоянии, что согласуется с теорией П.А.Ребиндера и его наблюдениями.

Структурные факторы, влияющие на поведение горной породы в активной среде, чрезвычайно многообразны и взаимосвязаны с другими факторами, определяющими механизм адсорбционного понижения прочности под воздействием среды. К ним относятся пористость, гранулометрический и минералогический составы, влажность породы, и текстура, и структура, дефектность структуры и т.д.

Горные породы представляют собой сложные трехфазные системы, состоящие из твердого вещества, жидкости и газа. Количество, объем и структура пор и трещиноватость определяют механическими свойствами горных пород. Структурные дефекты способствуют зарождению микротрещин, поверхностно-активная среда облегчает и способствует их развитию и распространению.

Эффективности действия ПАВ в значительной степени зависит от молекулярного сродства ПАВ и горной породы, т.е. при подборе оптимального понизителя прочности следует учитывать минералогический состав породы. Наибольшей смачивающей способностью будут обладать лишь те ПАВ, близкие по химическому составу горным породам; за счет этого достигается максимальная скорость подвода ПАВ к устью вновь образованных трещин.

При разрушении и деформации горных пород происходит формирование структур различных порядков и их переход друг в друга. При этом разрушение происходит, когда какая-то структура (например, система микротрещин) становится неустойчивой. Влияние раствора ПАВ как раз и заключается в том, что они могут перевести структуру из состояния устойчивого равновесия в неустойчивое положение.

В настоящее время можно с уверенностью отметить, что практически для каждого материала можно найти среду, которая приводит к адсорбционному понижению его прочности.

Практически для всех видов твердых тел существуют родственные по химическому составу и строению среды, которые в значительной степени обеспечивают компенсацию обнажающихся при разрушения тела связей, т.е. сильно понижающих свободную энергию возникающей вновь поверхности и, тем самым, могут привести к резкому падению прочности данного твердого тела. Степень влияния среды связана многими обстоятельствами, в том числе с реальной дефектной данного твердого тела - наличием зародышей разрушения, развитию которых и превращению в трещины помогает среда.

Важную роль играют границы зерен; если в отсутствие активной среды разрушение имеет чаще всего транскристаллитный характер, то при контакте с поверхностно-активным веществом твердого тела происходит почти исключительно по границам зерен, которые являются дефектами, несущими избыток свободной энергии и, соответственно, местами адсорбции и каналами для распространения поверхностно-активных атомов.

Понижение прочности горной породы или облегчение процесса механического разрушения ее может произойти только в среде, обладающей высокой энергией смачивания по отношению к данной породе или содержащей вещества, способные адсорбироваться на поверхности породы. В процессе механического разрушения напряжения, возникающие в породе, приводят не только к разрушению поверхностного слоя, но и к образованию макро- и микротрещин в более глубоких слоях породы, т.е. к образованию зоны остаточных деформаций. Вследствие этого в указанной зоне прочность породы всегда в той или иной степени понижена по сравнению с первоначальной прочностью.

Если разрушение ведется в неактивной среде, то в след за снятием нагрузки микротрещины закрываются и энергия, потраченная на их образование будет потеряна.

В работах /72-82/, посвященных понижению прочности, указывается многостороннее промышленное значение этого физико-химического эффекта. Показано, что различные виды бурения в твердых породах могут быть облегчены и ускорены под воздействием адсорбции активной среды, являющейся понизителем прочности разрушаемой породы.

Авторами работ /40, 79, 80/ для скорейшего вскрытия пластов при бурении использование ПАВ позволило увеличить механическую скорость бурения по сравнению с водой на 30%. Добавление сульфоната в промывочную жидкость увеличило механическую скорость при вращательном бурении по песчанику, мрамору и другим породам на 30-50%.

Наряду с адсорбционным действием понизителей прочности в облегчение диспергирования под влиянием добавок реагентов могут играть роль и чисто химические процессы в микротрещинах – гетерогенные химические реакции. При вступлении понизителей прочности в обменную химическую реакцию с горной породой облегчение диспергирования происходит за счет расширения микротрещин, вследствие химического растворения породы; с другой стороны, образующиеся продукты реакции могут давать обычный адсорбционный эффект понижения твердости, адсорбируясь на стенках микротрещин, например, соляная кислота.

Большой интерес представляют такие объемные химические реакции, когда понизитель прочности реагирует с одним из породообразующих минералов, находящихся в породе в виде мелких включений. В этом случае, наряду с адсорбционным действием на основные минералы породы реагент, вступая в микротрещинах в химическую реакцию с включениями и ослабляя этим связь между зернами основного минерала, будут облегчать разрушение породы. Пример действия соды при бурении в известняках и доломитах.

Адсорбционное понижение прочности, как и все другие адсорбционные эффекты, зависят от химического состава и физико-химического строения разрушаемого массива или обрабатываемого тела.

Песчаники обладают наиболее благоприятной структурой для действия понизителей прочности, а именно значительной пористостью и поэтому жидкость успевает проникнуть вглубь породы до ее момента разрушения. Для подбора понизителей прочности при бурении в песчаниках необходимо исходить не столько из минералогического состава зерен, которые по преимуществу являются зернами кварца, сколько из состава цементирующего вещества, так как цементы являются переменной составной частью песчаника. У различных пород понижение твердости достигается применением различных добавок.

Понизителями прочности могут быть соли (натрия, магния, алюминия), сода, едкий натр, а также такие адсорбирующие вещества как мыло, нафтеновые кислоты, технические продукты, содержащие углеводы. Так для карбонатных пород понизителем прочности являются щелочные электролиты с хлористым натрием концентрацией 0,1-0,25% и известь концентрацией 0,05-0,07%. Для глинистых пород (глинистые сланцы, аргиллиты и др.) - хлористый натрий с добавками соды концентрацией 0,25% /29,73/.

Анализ литературных данных показывает, что при воздействии растворов ПАВ и электролитов наблюдается адсорбционное снижение прочности массива горных пород, причем каждому типу пород соответствует свой наиболее эффективный компонент раствора.

1.2.2. Дезагрегация массива горных пород из крепких песчаников химическим методом с использованием поверхностно-активных веществ

Как известно, каждый песчаник состоит из минерального скелета и цементирующего вещества, а также пор и трещин, заполнение которых различными жидкостями предопределяет возможность изменения свойств массива. В результате этого заполнения порода становится многофазной средой, и свойства ее начинают зависеть от всего комплекса входящих элементов и от их взаимодействия.

Степень воздействия жидкости на горную породу может быть: статической и динамической. Статическое воздействие жидкости на породу приводит к ее набуханию, размягчению, растворению, а динамическое - к механическому разрушению и перемещению горных пород, закономерности которых приведены в работах /17, 19, 41/.

Первая стадия любого взаимодействия жидкости с твердым телом - смачивание, т.е. способность жидкости смачивать данную поверхность определяется молекулярным взаимодействием между жидкостью и поверхностью твердого тела, которую она смачивает. Это взаимодействие количественно характеризуется величиной краевого угла - β , образующегося на твердой поверхности вдоль линейной границы раздела твердое тело - жидкость - газ.

Чем притяжение (адгезия) в этой системе больше, тем ниже его свободная поверхностная энергия на границе смачиваемое тело - смачивающая его жидкость. Это значит, что смачивание твердого тела тем полнее и лучше, чем больше работа адгезии жидкости к твердому телу и чем меньше работа когезии жидкости, а, следовательно, и ее поверхностное натяжение /74, 84-86/.

Следующая стадия - заполнение эффективного порового пространства, увеличение трещиноватости, расслаиваемости пород, за счет ослабления связей между частицами (эффект Ребиндера). В процессе проникновения и заполнения рабочей жидкостью эффективного порового пространства может также происходить химическое взаимодействие, приводящее к частичному разрушению (растворения) цементирующих веществ породы /29, 61/.

Если на жидкость или газ, заполняющие сообщающиеся поровые пространства в пласте, действует внешняя сила, эти пластовые жидкости будут перемещаться в породе. Установившаяся скорость течения и его направление будут определяться, с одной стороны, различными физическими свойствами текущей среды (плотность, вязкость, сжимаемость, упругость и т.д.), с другой стороны, характером и свойствами порового пространства,

которые будут измеряться проницаемостью (пропускная способность породы). Чем больше подвижность жидкости насыщающей породу и чем выше адсорбционная способность и гидрофильность породы, тем сильнее разрушающее действие жидкости.

Известно, что изменение состава цемента меняет прочность горных пород. Наибольшей прочностью обладают песчаники с кремнистым цементом, затем идут песчаники с карбонатным цементом и совсем низкая прочность у песчаников с глинистым цементом. Однако прочность пород зависит и от величины и состава обломочного материала /25, 26, 30/.

Установлено, что минералогический состав пород оказывает влияние на характер движений в них жидкостей. На проницаемость песчаников оказывают влияние глинистые минералы. Разные глинистые минералы неодинаково оказывают свое влияние на фильтрующие способности пород. Наибольшее влияние на проницаемость пород оказывают глины монтмориллонитовой группы. Так содержание 2% монтмориллонитовой глины снижает проницаемость в 10 раз, а 6-9% монтмориллонита делают породу практически непроницаемой. Породы с содержанием каолиновых глин 2-15% являются хорошо фильтрующими породами /31, 37, 38/.

Установлено, что химические вещества, применяемые в горной и нефтедобывающей промышленности (табл. 1.2) показывают, что химически активные вещества применяются в основном для растворения угля и увеличения нефтедобычи. Увеличение проницаемости горных пород за счет обработки их химическими растворами указывает на возможность дезагрегации горных пород.

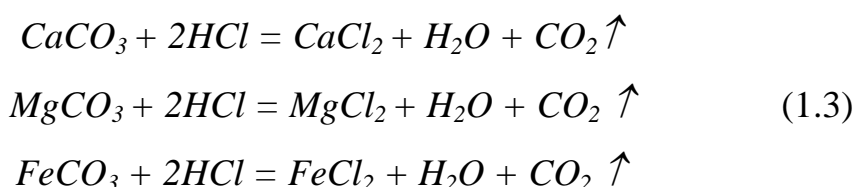
Применение ПАВ в горной нефтедобывающей промышленности

Реагент	Полученный эффект	Область использования
Раствор кислоты (органические и неорганические кислоты)	Растворение карбонатосодержащей породы; повышение проницаемости пласта, снижение прочности горных пород	Интенсификация нефтедобычи скважин
Формальдегид и смесь хлористого и фтористого аммония	Обработка песчаников с целью повышения проницаемости	Интенсификация нефтедобычи
Метилоформаат и этилацетат	Нагревание пласта, гидролиз, кислотная обработка	Добыча угля растворением
Высокомолекулярный полиакриламидный полимер	Раскрытие трещин	Добыча угля растворением
Гидразин	Увеличение проницаемости в результате образования газообразной среды, снижения прочности горных пород	Интенсификация нефтедобычи. Управление труднообрушаемой кровлей
Перекись водорода, перекиси щелочных металлов или их смеси	Растворение органического вещества	Добыча угля растворением
Гидразин, мочеvine, соли щелочных металлов низких карбоновых кислот	Образование промежуточных продуктов с глинистыми минералами	Добыча угля растворением
Водорастворимое масло 0,5-3%; эмульсия, состоящая из гомологов бензоле и нафталина калия, хромолана, бутадiona, меркантро-бензолтиазола и сульфоната натрия	Растворение глинистых минералов	Добыча угля растворением
Кремнефтористая кислота 5-15%	Растворение карбонатных пород	Интенсификация нефтедобычи
Аммиак	Удаление серы, золы	Обогащение угля
Сульфосалициловая	Растворение соединений	Добыча угля

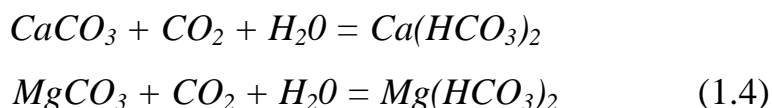
кислота	железа. Увеличение проницаемости угольного пласта	
Хлористый калий	Увеличение проницаемости пласта	Добыча угля
Динатриевая соль этилен-диаминтетрауксусной кислоты, солянокислый анилин	Обработка карбонатного пласта, увеличение нефте-добычи	Интенсификация нефтедобычи

Так для растворения песчаника, содержащего более 10-15% карбонатов в цементирующем веществе, нефтяники применяют раствор соляной кислоты (HCl) или гидразина солянокислого ($NH_2 \cdot NH_2 \cdot HCl$).

Основные реакции протекают в данном случае по схеме:



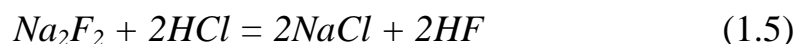
Выделяющийся углекислый газ увеличивает растворимость карбонатов, переводя их в растворимые гидрокарбонаты



В породах с малой проницаемостью и большим содержанием карбонатов целесообразно применение гидразина солянокислого /64/), который обладает большей смачивающей и адсорбционной способностью, чем раствор соляной кислоты.

С увеличением в составе цементирующего вещества содержания инистых соединений падает растворимость карбонатов /65/. В таких случаях применяют смесь кислот: соляной и плавиковой, называемой глинокислотой.

Плавиковую кислоту можно заменить бифторидом натрия, обращение с которым значительно проще и который в соляно-кислой среде постепенно превращается в хлорид натрия с образованием фтористоводородной кислоты:

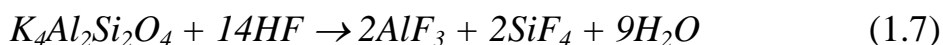


Процесс взаимодействия глинокислоты с породой сложен и может быть выражен следующими реакциями:

растворение кварца

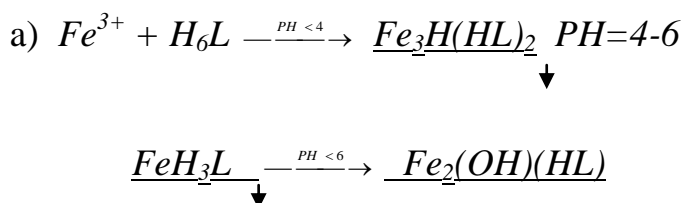


разложение каолинита

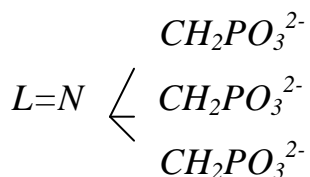


Наибольший интерес для дезагрегации крепких песчаников представляют химические соединения из класса комплексонов, выпускаемые в промышленных масштабах /87-90/. Одним из таких соединений, представляющих интерес, является нитрилотриметил-фосфоновая кислота.

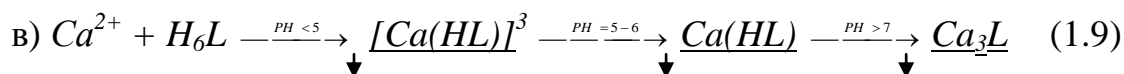
Реакции нитрилотриметилфосфоновой кислоты с соединениями, входящими в состав песчаников протекают по схеме:



где L - депротонированный остаток НТФ кислоты

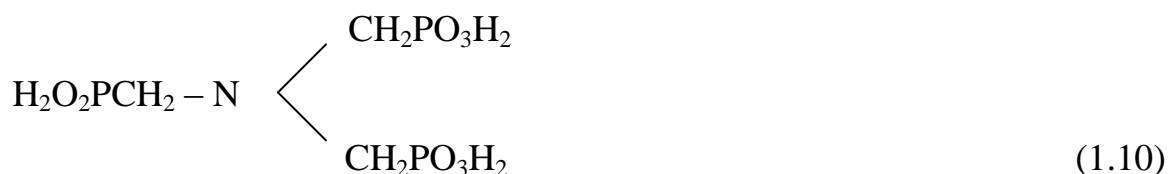


б) аналогично "а" протекает реакция с соединениями алюминия;



аналогично "в" протекает реакция с соединениями магния.

Структурная формула НТФ кислоты имеет вид:



Применение сульфосалициловой кислоты для ослабления крепких песчаников возможно на образовании с железом ряда комплексных соединений в зависимости от кислотности раствора /91,95/:

PH 1,8-2,5 - моносальфосалицилат железа буро-розового цвета

РН 4-8 - комплексный анион дисульфосалицилата бурового цвета

РН 8-11 - комплексный анион трисульфосалицилата железа желтого цвета

Анализ литературных источников /39,94-96/ показал возможность применения растворов карбамида для дезагрегации песчаников, с образованием промежуточных продуктов с глинистыми минералами.

Основными глинистыми минералами цементирующего вещества песчаников являются каолинит, гидрослюда, монтмориллонит, бейделлит и минералы их групп.

Минералы группы монтмориллонита имеют подвижную решетку (семь слоев в пакете), которая при увлажнении раздвигается вплоть до распада минерала на элементарные ячейки. Минералы сильно набухают - на 200-700% к сухому весу. Для минералов этой группы характерна высокая десорбционная способность вследствие внутреннего замещения одних элементов другими, имеющими меньшую валентность.

Минералы группы гидрослюд или иллита обладают промежуточными свойствами между монтмориллонитами и минералами группы каолинита. Минералы группы каолинита (каолинит, галлуазий, анауксит) имеют прочную неподвижную решетку, в которой расстояние между пакетами при увлажнении не меняется, которые мало набухают. Для получения "набухающего" каолинита необходимо блокировать поверхности всех элементарных слоев. Выполнить это можно путем принудительного разрыва водородных связей, соединяющих смежные слои, и немедленного заполнения межслоевых пространств молекулами ПАВ, способных более прочно, чем молекулы воды соединяться со слоями с помощью новых водородных связей.

При весьма интенсивной механической обработке кристаллов в присутствии органических соединений структура каолинита может быть полностью разрушена с появлением совершенно нового вещества с новой структурой.

Например, при воздействии на каолинит ацетатом калия был получен органо-каолинитовый комплекс и структура каолинита была разрушена /39/. С растворами слабых органических кислот каолинит также образует комплексы, приводящие к изменению его структуры. Глинистые минералы типа монтмориллонитовые комплексы с веществами: класса карбазидов. Определить глинистые минералы в песчанике возможно с помощью органических красителей.

Метод основан на способности глинистых минералов адсорбировать на своей поверхности органические красители - основные и кислотные /97, 98/. Эта способность различна у разных глинистых минералов, и обусловлена структурой их решетки (характером чередования тетраэдрических и октаэдрических слоев, их взаимной ориентировкой и изоморфными замещениями в этих слоях), определяющих величину и распределение отрицательных зарядов на поверхности частиц глинистых минералов.

Ионы, образующие поверхность глинистых частиц, расположены не беспорядочно, а в соответствии с геометрией их кристаллических решеток. Те ионы, из которых эта решетка построена, и те, что входят в нее на началах изоморфизма, определяют силовое электростатическое поле поверхности, которое и захватывает катионы красителей, связывая их более или менее прочно. В качестве органического красителя применяется метиленовый голубой.

Таким образом, выполненный анализ литературных и фондовых источников позволяет сделать выбор таких химически активных веществ как карбамид, соляная кислота, нитрилотриметилфосфоновая кислота, сульфосалициловая кислота, которые возможно применить для исследований по разупрочнению крепких песчаников. Кроме того, выпуск этих веществ осуществляет промышленностью в широких масштабах и потребность в них может быть легко удовлетворена.

1.3. Цель и задачи исследований

Целью магистерской диссертации является разработка способа ослабления прочности массива крепких песчаных горных пород химическим методом с применением различных типов раствора ПАВ, повышающих эффективность проведения подземных горных выработок и обеспечивающих снижение удельного расхода буровзрывных работ.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие основные задачи:

1. Исследование химического и петрографического состава крепких песчаных горных пород.
2. Комплексное исследование физико-механических, технологических и фильтрационных свойств в крепких песчаных породах.
3. Исследование ослабления прочности массива крепких песчаных горных пород химическим методом с использованием различных типов раствора ПАВ.
4. Исследование дезагрегации массива крепких песчаных горных пород химическим методом с использованием раствора карбамида.
5. Исследование изменения прочности массива крепких песчаных горных пород химическим методом в режиме свободного насыщения и напорного нагнетания.
6. Выбор химически активных реагентов и разработка рекомендации по применению химически активных растворов для ослабления прочности крепких песчаных горных пород.
7. Разработка эффективных параметров, способа и рекомендации ослабления прочности крепких песчаных горных пород химическим методом с использованием раствора ПАВ и их промышленное внедрение.

2. КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАССИВА КРЕПКИХ ПЕСЧАНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

2.1. Анализ химического и петрографического состава крепких песчаников

Крепкие песчаные горные породы являются наиболее распространенными породами. Они многообразны по петрографическим и физико-механическим свойствам. Подразделяются на мелкозернистые с размерами обломков 0,1-0,25 мм, среднезернистые с размерами обломков от 0,25-0,5 мм и крупнозернистый с размерами обломком 0,5 мм и выше.

Вещественно все песчаники представлены обломками полевого шпата и плагиоклаза, порфирита, кварца, сланцев различного состава, углистого материала, хлорита, карбоната, пластиночек слюды. Цементов служит глинистый материал, гидроокислы.

С целью подбора химических растворов для ослабления крепких песчаников проведена комплексная научно-исследовательская работа по определению их химического состава и типа цементирующего вещества.

Химический анализ проб и состав цемента проводился по известным методикам /97-99/.

Анализ полученных данных показывает, что состав песчаников состоит из одних и тех же элементов с преобладанием того или много минерала и вещественно представлен в основном кварцем, полевым шпатом, включениями сланца различного состава, а также углистым материалом. Химически осажденный материал, образующий цемент песчаников является важнейшим компонентом этих пород, так как состав и тип цемента породы находится в непосредственной связи с пористостью и крепостью.

Состав цемента песчаников различен и представлен в основном глинистый материал (гидрослюда, каолинит, монтмориллонит, бейделлит, их

изменение формы), карбонат, серицит, тонкораспыленный углистый материал, оксиды и гидроксилы железа.

Карбонатные минералы относятся к наиболее распространенному компоненту цемента крепких песчаников.

Состав цемента влияет и на пористость и на проницаемость породы представляют большой интерес при изучении движения флюидов через породы. Растворяющее влияние зависит в значительной степени от состава исходного материала и обычно легко устанавливается при изучении песчаников в шлифах и выражается в изменение характера контакта между зернами.

На примере двух песчаников, отобранных на различных шахтах, обладающих различными физико-механическими свойствами рассмотрим петрографическое описание их шлифов.

Общим для обеих проб песчаников является состав классического материала, который представлен обломками зерен кварца и полевых шпатов, а также обломками горных пород различного состава. Состав цемента представлен глинистым и карбонатным материалом. Главное различие между описанными песчаниками - тип цемента по взаимоотношению с обломками.

Лабораторными испытаниями установлено, что в пробе пространство между обломками выполнено не полностью и порода обладает более высокой пористостью. Обломки минералов и горных пород разъединены друг с другом и пространство между ними целиком выполнено карбонатным материалом, вследствие чего, песчаник обладает малой пористостью и повышенной механической прочностью.

Таким образом, цементирующее вещество является переменной составляющей песчаника при прочих равных условиях их химической дезагрегации. Наиболее благоприятен песчаник с контактово-поровым типом цемента и менее благоприятен песчаник с базальным типом цемента.

2.2. Исследование физико-механических и технологических свойств массива крепких песчаных горных пород

Физико-механические свойства крепких песчаных горных пород определяют по результатам исследования кернов, полученных при бурении геологоразведочных скважин. Пробы отбирались в количестве 10-15 кернов, диаметром 42-55 мм, из которых изготавливались образцы полуправильной формы по методике /100/, для определения их прочностных свойств.

Далее определялись пористости горных пород по методике /101/ на приборе СПВ-2. Принцип работы прибора основан на определении объема скелета образца породы по изменению давления, необходимого для сжатия воздуха в бюретке известного объема, присоединенного к камере с образцом. Исходной формулой для расчетов является формула закона Бойля-Мариотта.

После определения пористости породные образцы дробились до получения необходимой фракции и оценивали влажность по методике /102/.

Полученные данные показывают, что крепкие песчаные породы по гранулометрическому составу разделяются на мелко- и среднезернистые, их минеральный состав однообразен. Прочность песчаников почти не меняется и зависит от состава и типа цементирующей массы, находится в пределах 40,0-120,0МПа.

Менее прочны песчаники с глинисто карбонатным цементом. Однако характерной особенностью для исследованных песчаных горных пород является карбонатно-глинистый цемент. С увеличением количества карбонатов в цементе возрастает прочность песчаника. В табл.2.1 приведены изменения предела прочности на сжатие в зависимости от состава цемента.

Пористость песчаных горных пород колеблется от 2,2 до 11,0. Причем низкая пористость характерна для сильно карбонизированных песчаников с базальным типом цемента. Содержание воды в песчаных горных породах или их влажность колеблется от 0,4 до 5%.

Петрографические и прочностные характеристики песчаников

Разновидность песчаников	Цемент			Предел прочности на сжатие, МПа
	Наименование	содержание глинистого материала, %	Содержание карбонатов, %	
1	2	3	4	5
Мелкозернистый	Глинистый	20-30	5	53,0
		10-20	5	56,0
		1-5	5-10	68,0
	Карбонатный	1-5	10	94,0
Среднезернистый	Глинистый	15-20	5	52,0
		5-15	5	63,0
		1-5	10	78,0
	Карбонатный	1-5	10	89,0

2.3. Комплексное исследование фильтрационных свойств массива крепких песчаных горных пород

Эффективность воздействия химических растворов на массив определяется их свойствами, в которой производится нагнетание рабочей жидкости: пористостью, эффективной пористостью, влагонасыщением, газопроницаемостью.

Общая пористость образцов пород определялась по известной методике /49/ на приборе СПВ-2.

Эффективная пористость определялась из выражения:

$$m_{эф} = \frac{P_n - P_c}{V * d_o} \quad (2.1)$$

где: P_n - вес насыщенного водой образца породы, кг;

P_c - вес сухого образца породы, кг;

V - объем образца породы, м³

d_o - удельный вес раствора, кг/м³.

Проницаемость массива горных пород тесно связана с их пористостью. Проницаемость массива горных пород зависит не только от пористости, но и от характера распределения пор по размерам, морфологии порового пространства, минералогического состава и других факторов.

Проницаемость массива горных пород изучалась на приборе НВ-5М по методике /103/, который служит для определения газопроницаемости по скорости прохождения определенного объема воздуха при различных перепадах давления.

Проницаемость массива горных пород рассчитывали на основании полученной скорости истечения воздуха по формуле Дарси с введением поправок на среднее давление и на вязкость воздуха при комнатной температуре:

$$K_{np} = \frac{V}{t} \cdot \frac{l}{F} \alpha, \quad (2.2)$$

где: K - проницаемость образца, по методу Дарси

V - объем воздуха, см³

t - время истечения

l - длина образца, см

F - площадь сечения образца, см²

α - поправочный коэффициент.

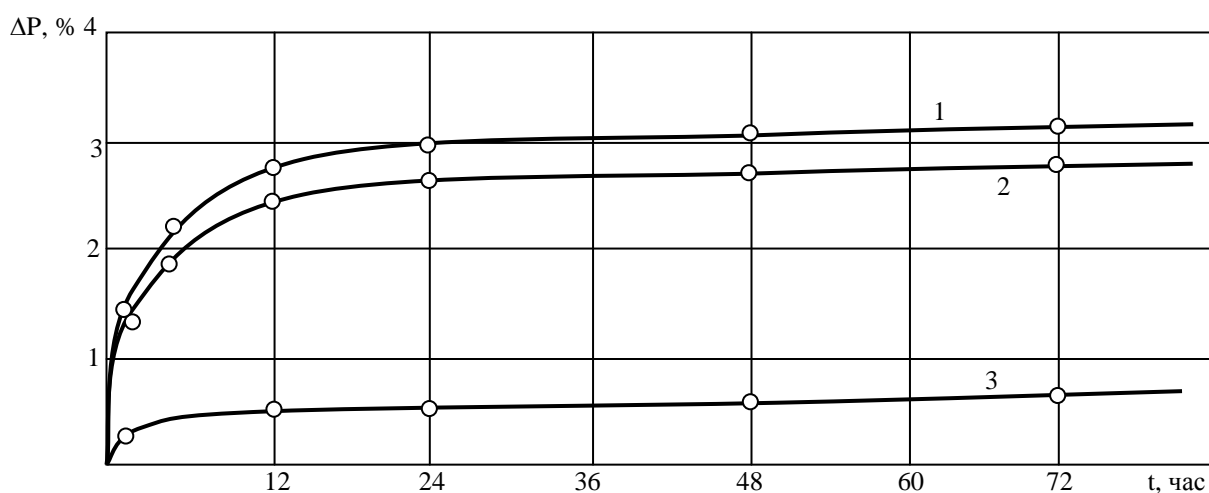
Из табл.2.2 видно, что общая пористость песчаных горных пород изменяется от 3,3 до 12,0%, а эффективная пористость колеблется от 0,18 до 6,8%. Песчаные горные породы, имеющие низкую эффективную пористость, обладают малым фильтрационным объемом. У таких песчаников и коэффициент фильтрации на два порядка меньше. Как показано выше пористость песчаников зависит и от типа и состава цементации, поэтому представляет интерес исследования влагонасыщения образцов песчаников различного типа цементации.

Исследованиями /16/ установлено, что влагоемкость массива горных пород зависит от минерального и гранулометрического составов, структуры и текстуры пород.

Установлено, что влагоемкости массива некоторых песчаных горных пород во времени с различным типом цемента: глинисто-карбонатный и карбонатно-глинистый; и различной проницаемостью. Процесс насыщения породных образцов (рис.2.1) водой стабилизируется к 24 часам и через 48 часов прироста веса образцов практически не наблюдается.

Из рис.2.1 видно, что интенсивность процесса влагонасыщения для различных песчаных горных пород неодинакова. Кривые 1,2 характеризуют песчаные горные породы с контактово-поровым типом цемента, 3,4-с базальным типом цемента. Влагоемкость массива последних в 6-10 раз ниже, чем у песчаных горных пород с контактово-поровым цементом.

Объем жидкости, который может вместить массив зависит от эффективной пористости и определяется расчетным путем из формулы, приведенной в работе /104/.



1 – песчаник с глинисто-карбонатным цементом;
2, 3 – песчаник с карбонатно-глинистым цементом

Рис.2.1. Изменение веса образцов песчаников с различным типом цемента при насыщения их водой

$$Q_{\text{общ}} = \pi R_{\text{эф}}^2 \cdot l_{\text{ф}} \cdot m_{\text{эф}} \theta, \quad (2.3)$$

где: $Q_{\text{общ}}$ – общий объем жидкости, закачанной в скважину, м³

$R_{эф}$ - эффективный радиус увлажнения, м;

$l_{эф}$ - длина фильтрующей части скважины, м;

$m_{эф}$ - эффективная пористость

$$m_{эф} = (0,03-0,4)m_o.$$

Открытая пористость m_o массива песчаных горных пород (в долях единицы) изменяется от 0,022 до 0,11.

Выводы по главе 2

1. Установлено, что цементирующее вещество массива песчаных горных пород является переменной составляющей и их дезагрегация зависит от состава и типа цементации. Исследованиями также установлено, что при прочих равных условиях для химической дезагрегации наиболее благоприятен песчаник с контактовым типом цементации и менее благоприятен песчаник с базальным типом цементации.

2. Установлено, что характерный цемент массива песчаных горных пород - карбонатно-глинистый. Также установлено, что увеличение содержания карбонатов в составе цемента увеличивает прочность массива песчаных горных пород.

3. Определено, что открытая пористость массива песчаных горных пород составляет в долях единицы от 0,022 до 0,11, а эффективная пористость 0,03 - 0,4 от общей пористости.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ КРЕПКИХ ПЕСЧАНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

3.1. Методика комплексного исследования ослабления прочности массива крепких песчаных горных пород химическим методом с использованием различных типов растворов поверхностно-активных веществ

Проводились исследования ослабления прочности массива крепких песчаных горных пород химическим методом с использованием раствора ПАВ. В экспериментах были использованы пробы из песчаных горных пород химико-минералогических компонентов, которые приведены в табл.3.1.

Таблица 3.1

Исходный химический состав песчаников

Цемент	Содержание химико-минералогических компонентов, %				
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
Карбонатно-глинистый	52,18	23,52	13,80	4,80	5,82
Глинисто-Карбонатный	63,54	8,9	16,66	2,20	3,67
Карбонатно-глинистый	60,40	9,4	16,66	5,54	7,0
Глинисто-Карбонатный	70,2	5,8	14,62	5,25	5,35

Определение химического состава породы осуществлялось согласно методике, установленной ГОСТ 10533-72. При этом содержание химико-минералогических компонентов оценивалось:

SiO₂ – весовых методом; Fe₂O₃; Al₂O₃; CaO; MgO – объемных методом.

Опыт по определению проводили следующим образом: 1 грамм породы фракцией 1,5 мм заливали химическим реагентом в объеме 50 мл. После истечения трех суток жидкость отфильтровывали, породу просушивали, затем определяли химический состав, результаты которого свидетельствовали о количестве вымытых компонентов и давали возможность выбора этих реагентов исходя из исходного содержания химико-минералогических компонентов в породе.

В табл.3.2 приведены результаты этих исследования, которые показывают, что растворы кислот при воздействии на песчаник вымывают соединения, содержащие железо (1,67 до 89,36%); кальция (от 33,85 до 90,42%); магния (от 18,00 до 70,09%), а также алюминия (от 6,68 до 9,60%). Раствор карбамида вызывает незначительные изменения в химическом составе породы. Следует отметить, что у выбранных кислот наилучшей реакционной способностью обладает раствор соляной кислоты.

Необходимо отметить, что между содержанием химико-минералогических компонентов породы и количеством вымытых компонентов в результате воздействия растворов кислот наблюдается определенная связь.

На основе корреляционного анализа получены следующие зависимости для комплексона

$$Q_{Fe_2O_3} = 3,97 C_{MgO} - C_{Al_2O_3} - 29,57 \quad (3.1)$$

$$Q_{Al_2O_3} = 160 \frac{C_{CaO}}{C_{SiO_2}} \cdot \frac{\ln C_{Al_2O_3}}{\ln C_{Fe_2O_3}} - 10,24 \quad (3.2)$$

$$Q_{CaO} = 86,75 - 4,34 C_{Fe_2O_3} \quad (3.3)$$

$$Q_{MgO} = 2150,64 \left(\frac{C_{CaO}}{C_{Fe_2O_3}} \right)^2 - 1502,23 \left(\frac{C_{CaO}}{C_{Fe_2O_3}} \right) + 225,78 \quad (3.4)$$

Таблица 3.2

Количество вымытых химико-минералогических компонентов из песчаных горных пород при воздействии химически активных растворов

№ п/п	Fe ₂ O ₃ , %	Al ₂ O ₃ , %	CaO, %	MgO, %
Раствор соляной кислоты 6%				
1	55,83	5,72	90,42	67,13
2	48,65	9,60	77,27	64,58
3	37,93	0,68	87,20	70,09
4	89,36	4,08	87,36	64,29
Раствор сульфосалициловой кислоты 1%				
5	14,50	0,00	44,30	28,00
6	5,00	9,96	81,53	20,79
7	10,34	0,00	63,11	41,12
8	40,43	2,04	68,41	64,29
Комплексон НТФ 0,5%				
9	9,00	0,00	0,00	18,00
10	1,67	6,12	33,85	86,14
11	6,90	0,99	61,59	57,01
12	14,89	8,16	49,46	28,57
Раствор карбамида 2%				
13	0,00	10,07	6,25	6,82
14	1,12	5,34	4,55	0,00
15	3,43	0,00	0,00	0,00
16	0,00	4,08	9,93	15,71
Вода				
17	0,09	0,36	6,25	5,59
18	3,03	0,12	0,45	11,99
19	3,45	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	10,83	0,00

для сульфосалициловой кислоты

$$Q_{Fe_2O_3} = 22,73 \left(\ln \frac{10 C_{Fe_2O_3}}{C_{CaO} \cdot C_{MgO}} \right)^4 \quad (3.5)$$

$$Q_{Al_2O_3} = 28,57 \frac{C_{Al_2O_3} - 13,8}{C_{CaO} \cdot C_{MgO}} \quad (3.6)$$

$$Q_{CaO} = 91,3 - 27,2 \frac{\left(C_{Fe_2O_3} - C_{Al_2O_3} \right)^2}{C_{SiO_2}} \quad (3.7)$$

$$Q_{MgO} = 129 - 40 \left[\frac{C_{Al_2O_3} - C_{CaO}}{C_{MgO}} \right] \quad (3.8)$$

ДЛЯ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ

$$Q_{Fe_2O_3} = 25 \left[\ln \left(C_{Fe_2O_3} + C_{MgO} \right) \right] - 140 \quad (3.9)$$

$$Q_{CaO} = 10 \left[\ln \left(C_{Fe_2O_3} \right) + \left(C_{MgO} - C_{CaO} \right) \right] + 49 \quad (3.10)$$

$$Q_{MgO} = 87,5 - 2,5 \left[\ln \left(C_{Fe_2O_3} \right) + \ln \left(C_{MgO} \right) + \left(C_{CaO} \right) \right] \quad (3.11)$$

где $Q_{Fe_2O_3}$; $Q_{Al_2O_3}$; Q_{CaO} ; Q_{MgO} - содержание соответствующих химико-минералогический компонентов в породе, %.

Эти зависимости верны при следующих граничных условиях

$$5,80\% \leq C_{Fe_2O_3} \leq 23,50\% \quad (3.12)$$

$$13,80\% \leq C_{Al_2O_3} \leq 16,66\% \quad (3.13)$$

$$2,20\% \leq C_{CaO} \leq 5,54\% \quad (3.14)$$

$$3,64\% \leq C_{MgO} \leq 7,00\% \quad (3.15)$$

Если в качестве критерия для выбора химически-активных реагентов, использовать количество вымытых химико-минералогических компонентов,

то наиболее перспективным в этом плане является соляная кислота. Поэтому представляет интерес исследования по установлению времени воздействия растворов соляной кислоты на количество вымываемых химико-минералогических компонентов.

Суть эксперимента сводилась к следующему: 1 г породы фракцией 1,5 мм обрабатывали порциями по 10 мл раствора соляной кислоты различной концентрации, но истечении определенного времени оценивалось процентное содержание химико-минералогических компонентов в фильтрате.

Результаты этих исследований сведены в табл.3.3, которые показывают, что количество вымываемых химико-минералогических компонентов зависит от концентрации и времени воздействия реагента: в первые 30-60 мин происходит вымывание только карбонатных включений. Исключение составляет воздействие соляной кислоты концентрацией 8%, где к концу часа наблюдается вымывание соединений, содержащих железо. Дальнейшее увеличение времени воздействия приводит к вымыванию соединений, содержащих алюминий, железо. Причем явно наблюдается влияние исходных концентраций кислоты.

Например, для песчаных горных пород воздействия 0,5% соляной кислоты приводит к вымыванию соединений железа только после истечения 30-36 часов, а для концентрация 6-8% хватает 8 часов, т.е. увеличение концентрация кислоты приводит в первый момент к различному количеству вымытых соединения, но с увеличением времени начиная с концентрация кислоты количество вымытых минералов стабилизируется. При воздействии кислотами низких концентраций (0,5-2%) соединения, содержащие алюминий, вымываются раньше, чем соединения, содержащие железо. Что касается времени воздействия, то основная масса вымытых химико-минералогических компонентов приходится к концу 24 часов.

Таблица 3.3

Количество вымытых компонентов в фильтрате при воздействии
соляной кислоты

Время воздействия	Концентрация соляной кислоты, %	Вымывание химико- минералогических компонентов, %				Сумма элементов
		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	
0,50	0,5	-	-	2,03	1,55	3,58
	2,0	-	-	3,43	2,90	6,93
	4,0	-	-	4,34	3,50	7,84
	6,0	-	-	4,82	3,60	8,42
	8,0	-	-	5,04	4,00	9,04
1,00	0,5	-	-	2,80	2,10	4,90
	2,0	-	-	4,05	3,45	7,50
	4,0	-	-	4,65	3,65	8,30
	6,0	-	-	5,18	3,95	9,13
	8,0	-	-	3,32	4,20	9,52
8,00	0,5	-	-	3,20	2,80	6,00
	2,0	-	-	4,40	3,20	7,60
	4,0	-	-	4,45	3,45	8,70
	6,0	2,70	1,20	4,85	3,45	12,20
	8,0	5,21	1,19	4,80	3,50	14,70
15,00	0,5	-	-	3,55	2,85	6,42
	2,0	-	0,34	4,34	3,50	8,10
	4,0	-	1,10	4,55	4,25	9,90
	6,0	5,60	1,19	4,82	3,35	15,96
	8,0	7,60	1,70	4,97	4,45	18,72
24	0,5	-	-	3,50	2,90	6,40
	2,0	-	0,85	4,34	3,75	8,94
	4,0	6,00	1,23	4,55	4,25	16,00
	6,0	7,20	1,70	4,90	4,45	18,5
	8,0	9,60	1,87	5,04	4,70	21,2
30	0,5	-	0,40	3,30	2,80	8,50
	2,0	1,30	0,45	4,05	3,40	9,20
	4,0	7,10	1,05	4,55	4,10	18,80
	6,0	8,50	1,27	4,60	4,09	19,40
	8,0	10,00	2,40	4,90	4,50	21,80
36	0,5	0,20	0,50	3,20	2,70	6,60
	2,0	0,67	0,71	4,02	3,50	8,70
	4,0	7,22	1,07	4,32	4,09	16,70
	6,0	9,00	1,65	4,40	4,05	19,1
	8,0	9,60	2,92	4,50	4,48	21,50
0,50	0,5	-	-	2,32	2,25	4,56
	2,0	-	-	4,41	4,35	8,76

	4,0	-	-	4,76	4,80	9,56
	6,0	-	-	5,32	5,30	10,62
	8,0	-	-	5,95	5,35	11,50
1,00	0,5	-	-	3,22	2,25	5,47
	2,0	-	-	5,46	4,00	9,46
	4,0	-	-	5,67	4,10	9,77
	6,0	-	-	6,72	4,50	11,22
	8,0	4,00	-	6,79	4,60	15,39
8,00	0,5	-	-	2,60	3,50	6,10
	2,0	-	-	5,05	4,45	9,50
	4,0	3,44	-	5,46	4,50	13,40
	6,0	4,62	0,20	5,70	4,55	15,07
	8,0	5,85	0,38	6,50	4,70	17,63
15,00	0,5	-	-	3,50	3,20	6,70
	2,0	-	0,17	4,82	4,50	9,49
	4,0	5,80	0,34	5,04	4,65	15,83
	6,0	6,00	0,68	5,25	4,70	16,63
	8,0	6,40	0,68	5,39	4,75	17,22
24	0,5	-	-	4,27	3,50	7,77
	2,0	-	0,30	4,56	4,00	9,80
	4,0	7,40	0,51	4,76	4,15	16,72
	6,0	7,60	0,68	4,83	4,25	17,36
	8,0	7,80	0,68	4,90	4,35	17,73
30	0,5	-	-	4,35	3,45	7,80
	2,0	1,06	0,34	4,50	3,76	9,90
	4,0	7,57	0,55	4,70	3,98	16,80
	6,0	7,50	0,80	4,65	4,05	17,40
	8,0	8,00	0,95	4,80	4,05	17,80
36	0,5	-	-	4,20	3,50	7,70
	2,0	1,39	0,21	4,35	3,75	9,70
	4,0	7,65	0,45	4,50	3,80	16,40
	6,0	8,13	0,69	4,68	3,80	17,30
	8,0	8,07	0,78	4,80	3,95	17,60

3.2. Исследование дезагрегации массива крепких песчаных горных пород химическим методом с использованием раствора карбамида

Изменение прочностных свойств песчаника зависит от изменения прочности связи между слагающими его компонентами, т.е. от изменения агрегатного состояния цементирующего вещества.

Исследования в системе раствор карбамид-песчаник проводили согласно схеме, представленной на рис. 3.2. Анализ количества вымытых химико-минералогических компонентов песчаника раствором карбамида показывает, что раствор карбамида вызывает незначительное изменение в химическом составе песчаника.

Рентгеноструктурный анализ песчаника, обработанного и необработанного раствором карбамида не изменяет структуры песчаника /108/. Химический анализ фильтрата не показал никаких результатов, однако исследования, проведенные по определению остаточной концентрации карбамида в фильтрате после воздействия на песчаные горные породы по методике /109/ нефелометрическим способом на прибора ФЭЖ (рис.3.3) показывают, что концентрация раствора карбамида в системе раствор-песчаник со временем изменяется.

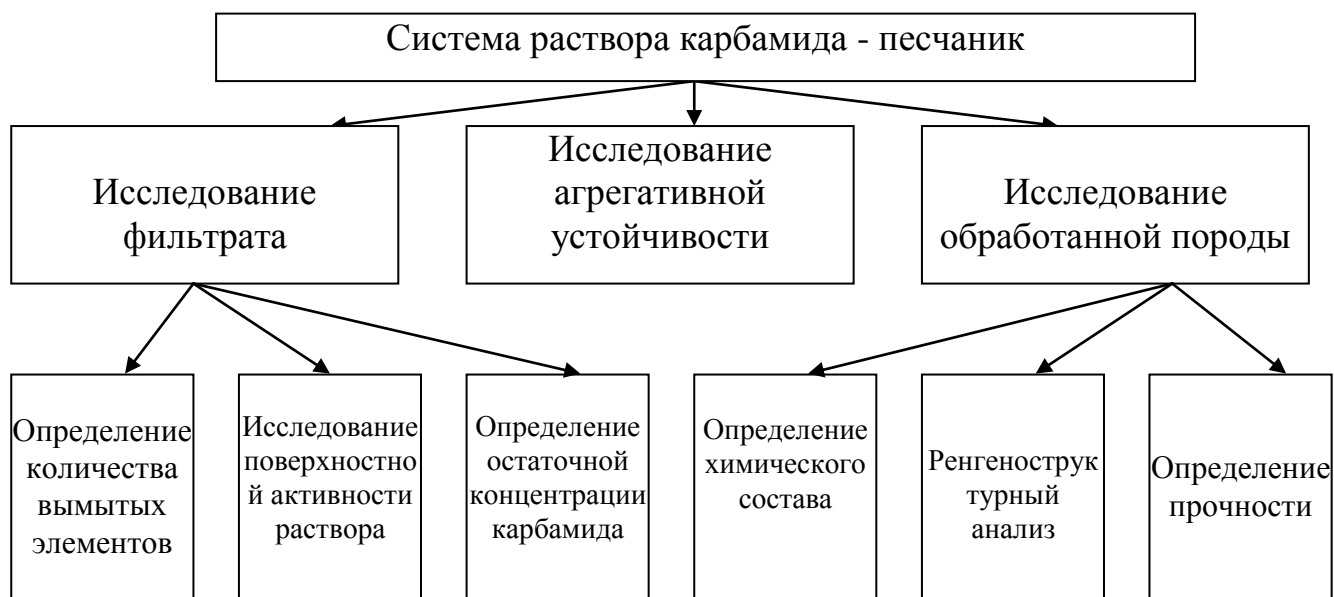


Рис.3.2. Схема исследований в системе раствор карбамида - песчаник

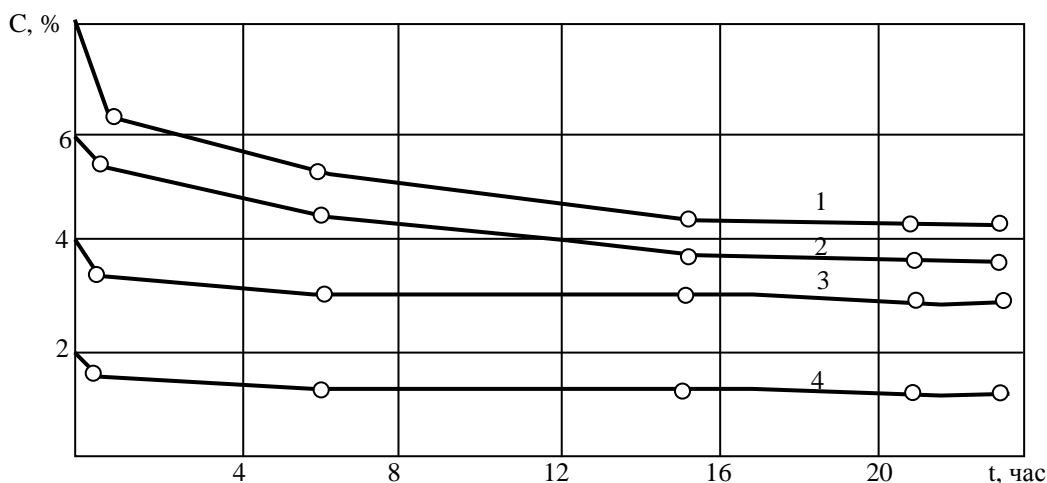


Рис.3.3. Изменение концентрации в системе раствор карбамида – песчаник
1-исходная концентрация 8%; 2-6%; 3-4%; 4-2%

Анализ полученных данных показывает, что раствор карбамида повышает диспергирующую способность жидкости на 10-11. Это говорит о том, что раствор карбамида дезагрегирует песчаник как ПАВ.

3.3. Исследование насыщения массива крепких песчаных горных пород химически активными растворами

Механизм снижения прочности образцов пород при воздействии на них различных химических реагентов в зависимости от состава цемента можно наглядно показать по характеру изменения веса образцов в процессе взаимодействия.

Серия образцов, представленных кернами диаметром 52 мм с различным типом цемента просушили при температуре 105°C до стабилизации веса и поместили в растворы химически активных веществ, а именно раствор карбамида, концентрации 4% растворы кислот: соляной 4%, сульфосалициловой 1%, НТФ - 0,5%. По истечении определенного времени измеряли вес образцов, на рис.3.4 и 3.5 представлено изменение веса образцов во времени с различным цементом: с карбонатно-глинистым и глинисто-карбонатным.

Анализ показывает, что при глинисто-карбонатном составе цемента при воздействии кислот с песчаником происходит в основном процесс насыщения, который полностью затушевывает процесс растворения. При этом снижение прочности песчаника происходит за счет его пропитки (эффект Ребиндера). Насыщение образцов раствором карбамида носит несколько иной характер: приросты веса идут почти по линейному закону и заканчиваются в течение 72 часов полной дезагрегацией образцов. Объяснить это можно тем, что глинистые минералы, взаимодействуя с раствором карбамида образует комплексы, разрушающие связи в песчанике.

Для песчаников с карбонатно-глинистым цементом при насыщении его раствором карбамида характер изменения веса образцов протекает аналогично таковому как и при взаимодействии кислот с песчаниками, имеющими глинисто-карбонатный цемент. Такой характер определяется незначительным содержанием глинистых минералов в цементирующем веществе.

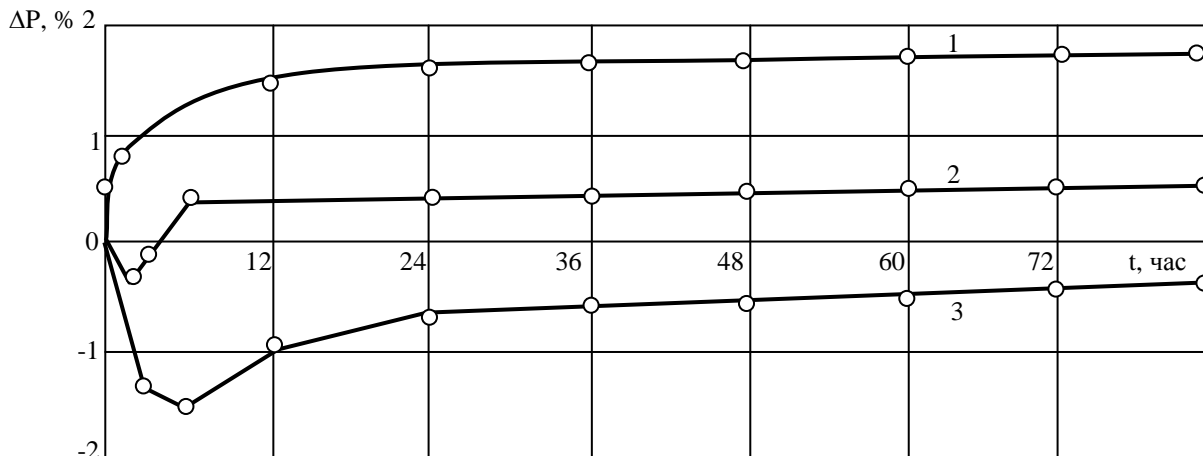


Рис.3.4. Характер изменения веса образцов из карбонатно-глинистых цементов: 1- раствор карбамида; 2 – раствор сульфацилиловой кислоты; 3- раствор соляной кислоты

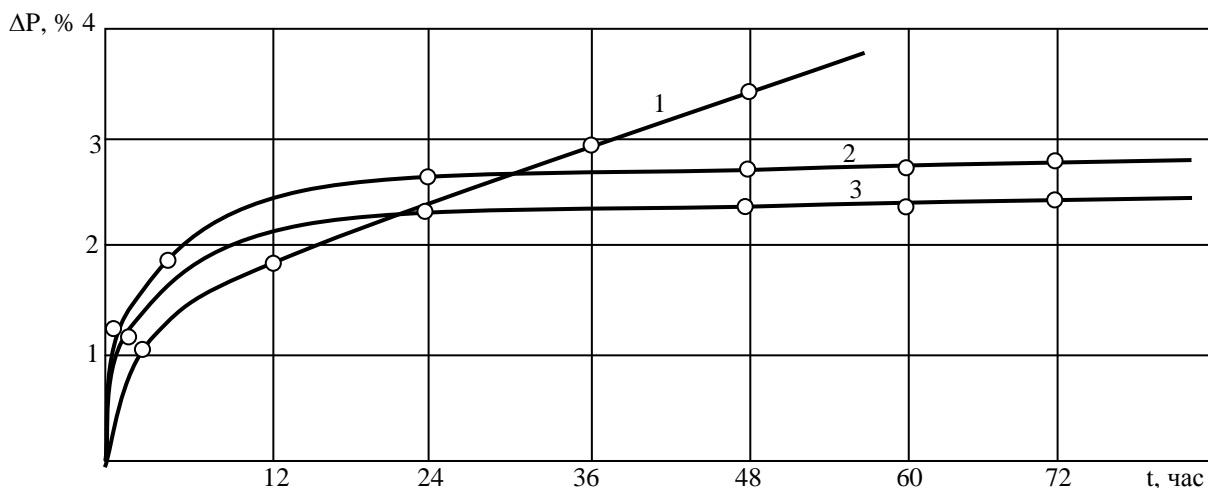


Рис.3.5. Характер изменения веса образцов с глинисто-карбонатным цементом: 1 – раствор карбамида; 2 – раствор соляной кислоты; 3 – раствор комплексона НТФ

Характер изменения веса образцов песчаника при насыщении растворами кислот зависит от скорости взаимодействия с карбонатными соединениями. Так скорость растворения карбонатов раствором соляной кислоты (кривая 3 на рис.3.4) превышает скорость насыщения песчаника влагой, поэтому в первый момент времени наблюдается уменьшение веса образцов. Затем процесс растворения идет на убыль и во взаимодействии начинает преобладать процесс насыщения. Снижение прочности у таких песчаников происходит в основном, как за счет размыва минеральных включений, так и за счет насыщения.

3.4. Исследование изменения прочности массива крепких песчаных горных пород химическим методом в режиме свободного насыщения

Исследования проведены с целью проверки выбранных химических реагентов по критерию снижения прочности пород, а также для оценки степени влияния типа и состава цемента на уровень снижения прочности пород.

Для экспериментов использовались керны из песчаников диаметром 40-43 мм, высотой 15-20 мм. Образцы породы заливали различными жидкостями определенной концентрации, в количестве необходимом для полного вымывания минералов, способных к растворению.

На первом этапе исследовали изменение прочности песчаников при воздействии химически активных растворов во времени, результаты этих исследований представлены в табл.3.4.

Таблица 3.4

Изменение прочности песчаников во времени при воздействии различных химически активных реагентов

Продолжительность опыта, сут	Рабочие жидкости									
	Вода		Соляная кислота - 6%		Карбамид – 2%		Сульфосалициловая кислота – 1%		Комплексон НТФ – 0,5%	
	Предел прочности на сжатие ($\sigma_{сж}$), МПа									
	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	45-55	30-38	45-55	45-52	45-55	30-35	45-55	45-50	45-55	44-50
3	-	20-26,5	-	40-45	«-»	-	«-»	33-46	«-»	33-46
6	-	17-20	«-»	38-42	«-»	-	«-»	«-»	«-»	«-»
10	-	«-»	«-»	«-»	«-»	-	«-»	«-»	«-»	«-»
1	100-120	100-120	100-120	80-100	100-120	80-100	100-120	65-90	100-120	100-120
3	«-»	100-110	«-»	70-80	«-»	70-80	«-»	60-80	«-»	100-110
6	«-»	«-»	«-»	65-75	«-»	«-»	«-»	50-65	«-»	90-100
10	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»
1	80-82	35-40	80-82	78-80	80-82	25	80-82	15-20	80-82	40-45
3	«-»	12-17	«-»	76-78	«-»	*	«-»	13-14	«-»	16-18
6	«-»	*	«-»	75-78	«-»	-	«-»	10-14	«-»	13-16
10	«-»	-	«-»	«-»	«-»	-	«-»	«-»	«-»	«-»
1	80-81	60-70	80-81	50-58	80-81	50-55	80-81	53-58	80-81	51-59
3	«-»	55-60	«-»	40-45	«-»	38-40	«-»	39-40	«-»	38-43
6	«-»	50-57	«-»	35-40	«-»	32-38	«-»	33-35	«-»	31-37
10	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»
1	55-60	52-55	55-60	10-15	55-60	50-55	55-60	25-31	55-60	15-25
3	«-»	«-»	«-»	5-10	«-»	«-»	«-»	20-27	«-»	10-20
6	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	5-10
10	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»

*-образец породы дезагрегировал

Анализ данных показывает, что основное снижение прочности происходит в первые трое суток и стабилизируется на шестые. Наилучшей

рабочей жидкостью для песчаников с глинисто-карбонатным цементом является раствор карбамида, при использовании которого происходит полная дезагрегация некоторых образцов песчаника.

Воздействие раствора карбамида на песчаники карбонатно-глинистым цементом сказывается значительно меньше, где снижение прочности породы при обработке раствором карбамида составляет всего 5-10%. При карбонатно-глинистом составе цемента максимальное снижение прочности достигается при использовании растворов соляной кислоты, комплексона НТФ сульфосалициловой кислоты.

Многочисленные испытания пород позволили установить для большей группы песчаников связь между исходным содержанием химико-минералогических компонентов и прочностью пород на сжатие в виде выражения:

$$B_c = 3,4 \left[\frac{(C_{CaO})^2 * C_{MgO}}{C_{Al_2O_3}} + C_{Fe_2O_3} \right] + 2,9, \text{ МПа} \quad (3.1)$$

Анализ (3.1) показывает, что прочность песчаника в первую очередь зависит от содержания в них соединений кальция, а также магния и железа. Наличие соединений алюминия свидетельствует о присутствии в породе глин, которые ослабляет связи между минералами.

С учетом (3.1), данные табл.3.2 и 3.1 показывают, что наибольшей реакционной способностью к цементирующему веществу песчаников обладает раствор соляной кислоты. Однако величина снижения прочности породы не коррелирует с количеством вымытых компонентов. Например, снижение прочности породы при воздействии соляной кислоты составляет - 5%, комплексона НТФ - 80%, сульфосалициловой кислоты – 80%. Данные свидетельствуют, что использование количества вымытых химико-минералогических компонентов в качестве критерия для выбора реагентов неприемлемо. Очевидно, что искомым критерий должен комплексно учитывать как свойства рабочей жидкости, так и разупрочняемой породы.

В принципе выбранные рабочие жидкости позволяют снизить прочность крепких песчаных горных пород любого химического состава на 80-90%. Главным условием достижения этих показателей является возможность проникновения химического реагента вглубь образца. Эти условия, как было показано ранее, определяются типом цементации, физическим отражением которых являются эффективная пористость и коэффициент проницаемости.

Так на опытах с образцами крепких песчаных горных пород и имеющих базальный тип цемента ($m_{э\phi}=(0,18-0,3)\%$ $K_{\phi}=1\cdot 10^{-3}$ Дарси) наблюдалось следующее. После испытания пород на прочность на приборе БУ-39 визуально исследовались обломки пород для определения глубины проникновения рабочей жидкости. Было установлено, что глубина пропитки растворов соляной и сульфосалициловой кислоты, комплексоне НТФ составляет: вдоль напластования 4-8 мм и 2-4 мм поперек напластования.

Меньшее значение глубине пропитки соответствовала соляная кислота, у которой оказалась отрицательная поверхностная активность к этому песчанику. Интересно отметить, что обработанную кромку породы, в некоторых случаях можно было разрушить мускульным усилием рук. Таким образом, при измерении прочности пород с базальным типом цемента фиксировалась усредненное снижение прочности, которое объективно не отражало итог процесса.

3.5. Исследование изменения прочности массива крепких песчаных горных пород химическим методом в режиме напорного нагнетания

Для максимального приближения к натурным условиям, где породы находятся в объемном напряженном состоянии, в лабораторных условиях проводили опыты по воздействию рабочих жидкостей на образцы в режиме напорного нагнетания. При этом образцы находились в состоянии всестороннего обжатия.

Давление обжатия составляло 10МПа, что соответствует горному давлению на глубине 500м. Опыты ставились над образцами-кернами, длиной 140-150 мм. Методика работы на приборе приведена /107/. После обработки на приборе напорного нагнетания образцы разрезались на цилиндры высотой 20 мм, с целью определения глубины пропитки и изменения прочности песчаника по высоте керна.

В табл. 3.5 приведены результаты этих исследований. Значения прочности песчаников приведены только для пропитанной части. Анализ данных показывает, что глубина пропитки зависит от типа цементации: при банальном типе жидкость фактически не проникает в образец, при поровом и контактовом типе цемента наблюдается проникновение.

Таблица 3.5

Изменение прочности песчаников при воздействии химически активных растворов в режиме напорного нагнетания

Наименование рабочей жидкости	Время воздействия, суток	Глубина пропитки, 10^{-3} м	Предел прочности на сжатие, МПа		Снижение прочности, %	Давление нагнетания, МПа	
			До обработки	После обработки		Исходное	Конечное
Сульфосалициловая кислота 1%	14	5	100-110	75-80	26,4	7,1	5,8
Вода	«-»	3	100-110	92-100	6,8	7,1	5,0
Вода	14	100	72-82	66-68	12,9	7,0	6,2
Карбамид 4%	«-»	100	84-88	22-61	30,0	7,2	3,5
Соляная кислота 10%	3	50	72-75	60-66	12,0	5,4	3,1
Соляная кислота 6%	6	140	68-72	15-35	52	7,0	3,0

Величина снижения прочности пород при такой схеме обработки образцов несколько ниже, чем при свободном насыщении, что объясняется уменьшением эффективной пористости при обжати, и снижением доступности растворимых минералов рабочей жидкостью. Таким образом, проведенные исследования на приборе напорного нагнетания показали принципиальную возможность разупрочнения крепких осадочных пород, находящихся в условиях объемного напряженного состояния.

3.6. Выбор химически активных реагентов

Как показали исследования влияния химически активных реагентов на прочность песчаника, выбор этих реагентов должен осуществляться с учетом не только химико-минералогического состава пород, но и свойств, характеризующих взаимодействие в системе горная порода – рабочая жидкость. Для анализа результатов снижения прочности при свободном насыщении песчаника растворами кислот привлечены показатель, характеризующий химико-минералогический состав, поверхностная активность и концентрация раствора кислот, а также коэффициент проницаемости.

При этом исследовалась зависимость вида

$$\Delta\sigma_{\phi} = f(K_{\text{хмс}}; q; c; K_{\text{пр}}),$$

где $\Delta\sigma_{\phi}$ - снижение прочности породы при воздействии реагента, %; $K_{\text{хмс}}$ – коэффициент, учитывающий исходный химико-минералогический состав пород; q – поверхностная активность рабочей жидкости на песчанике, $\frac{\text{H}}{\text{м}} \cdot 10^{-3}$ Дарси; c – концентрация реагента, процент.

В качестве $K_{\text{хмс}}$ использовалось соотношение:

$$\frac{C_{\text{Fe}_2\text{O}_3} \cdot C_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{(C_{\text{CO}_2})^2 C_{\text{MgO}}},$$

взятое из выражения (3.1)

Определение поверхностной активности производилось согласно работе /74/ и вычислялось по формуле:

$$q = - \frac{d\sigma}{dc} = \frac{\sigma_0 - \sigma_c}{c}, \quad (3.3)$$

где σ_0 – исходное поверхностное натяжение раствора, 10^{-3} Н/м;

σ_c – поверхностное натяжение после воздействия, 10^{-3} Н/м;

c – концентрация раствора, Мг/г.

В табл. 3.6 приведены данные поверхностной активности химических растворов различной концентрации.

Анализ этих данных показывает, что рассматриваемые растворы обладают различной поверхностной активностью, причем наибольшие значения у растворов низких концентраций. В связи с этим представляет интерес сопоставление данных до поверхностной активности, рассматриваемых кислот с величиной ($\Delta\sigma_{\phi}-\Delta\sigma_p$). $\Delta\sigma_p$ – расчетное снижение прочности пород, полученное путем подстановки в (3.1) остаточных значений содержания химико-минералогических компонентов, определенных из табл.3.5.

Физический смысл этого сопоставления заключается в том, что мы наглядно представим, какие потери в снижении прочности пород будем иметь, если не учитывать поверхностную активность рабочей жидкости (рис.3.6).

Анализ показывает, что максимальное расхождение расчетного и фактического снижения прочности пород при воздействии на них растворов кислот наблюдается при отрицательных значениях поверхностной активности реагентов. При значениях поверхностной активности свыше 0,1 разница в показателях весьма мала.

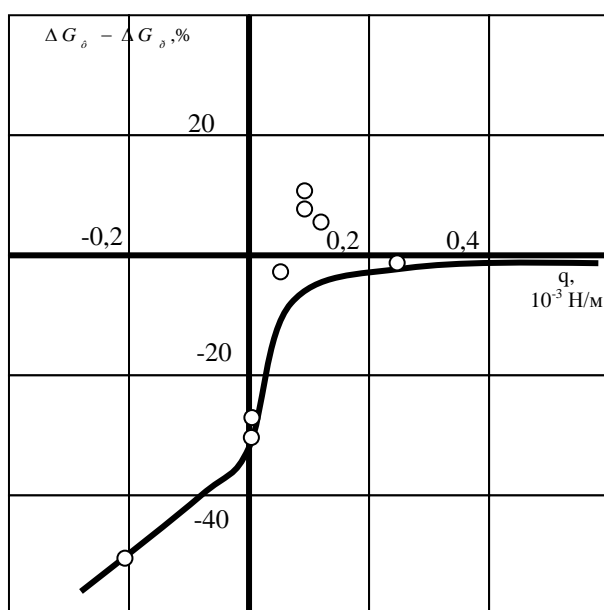


Рис. 3.6. Снижение прочности пород при различных значениях поверхностной активности химических реагентов

Таблица 3.6

Поверхностная активность химических растворов

Концентрация раствора	До адсорбции	Поверхностная активность после адсорбции на песчаниках, Н/м·10 ³		
		Проба 1	Проба 2	Проба 3
Раствор соляной кислоты				
0,5	-0,030	1,260	1,120	-0,634
2,0	-0,007	0,120	0,099	-0,123
4,0	-0,009	0,050	0,099	-0,112
6,0	-0,013	0,051	0,120	-0,065
8,0	-0,011	0,026	0,018	-0,066
10,0	-0,012	0,014	0,005	-0,021
Раствор сульфосалициловой кислоты				
0,5	1,340	-0,510	-1,430	-0,600
1,0	0,310	0,100	-0,0210	0,100
3,0	0,168	0,180	-0,028	0,150
5,0	0,141	0,040	-0,017	0,100
7,0	0,097	0,042	-0,008	0,035
10,0	0,030	0,090	-0,020	0,025
Раствор комплексона НТФ				
0,1	1,940	3,780	2,520	3,780
0,3	0,640	0,840	0,840	0,480
0,5	0,130	0,504	0,100	0,252
1,0	-0,150	0,368	0,740	0,116
2,0	-0,120	0,189	0,068	0,000
3,0	-0,010	0,040	0,210	-0,178
Раствор карбамида				
0,5	-0,120	0,160	0,680	0,368
2,0	-0,030	0,046	0,046	0,096
4,0	0,008	0,110	0,0160	0,069
6,0	0,013	-0,076	-0,060	-0,007
8,0	0,028	-0,011	-0,006	-0,002
10,0	0,036	0,009	-0,046	-0,036

Положительные значения ($\Delta\sigma_{\phi}-\Delta\sigma_{p}$) относятся к погрешностям в измерениях, т.к. ($\Delta\sigma_{\phi}-\Delta\sigma_{p}$) не должно быть выше нуля. Таким образом, при выборе химических реагентов необходимо ориентироваться на такие, у которых поверхностная активность на разупрочняемом песчанике выше или близка к 0,1. Поверхностная активность растворов химических реагентов и снижение прочности пород приведена в табл.3.7

Таблица 3.7.

**Поверхностная активность растворов химических реагентов
и снижение прочности пород**

Показатели	Реагенты		
	Соляная кислота, 6%	Комплексон НТФ, 0,5%	Сульфосалициловая кислота 1,0%
Проба 1			
Поверхностная активность, q	-0,065	0,252	0,1
Расчетное снижение прочности, $\Delta\sigma_p$, %	41	80	71
Фактическое снижение прочности, $\Delta\sigma_\phi$, %	5	80	80
$\Delta\sigma_\phi - \Delta\sigma_p$, %	-42	0	9
Проба 2			
Q	0,051	0,504	0,1
$\Delta\sigma_p$	64	36	30
$\Delta\sigma_\phi$	30	35	41
$\Delta\sigma_\phi - \Delta\sigma_p$	-34	-1	11
Проба 3			
q	0,120	0	-0,21
$\Delta\sigma_p$	75	60	59
$\Delta\sigma_\phi$	80	22	9
$\Delta\sigma_\phi - \Delta\sigma_p$	5	-38	-50

Для получения комплексного показателя K_{Π} , учитывающего свойства жидкости и пород по критериям (3.2) были проведены следующие исследования: образцы с известной проницаемостью, исходным химико-минералогическим составом, заливали реагентами различной концентрации с различной поверхностной активностью. После истечения трех суток образцы испытывались на прочность на приборе БУ-39. количество заливаемой жидкости было избыточное.

Результаты проведенных исследований представлены в табл.3.8. Для установления зависимости между величиной снижения прочности $\Delta\sigma_\phi$ и вышеупомянутыми критериями, был введен комплексный показатель K_{Π} , представляющий собой произведение

$$K_{\Pi} = K_{\text{ХМС}} \cdot q \cdot K_{\text{пр}} \cdot C \quad (3.4)$$

Таблица 3.8

Исходные данные для расчета комплексного показателя

Реагент	C, %	$K_{\text{хмс}}$	$Q, 10^{-3}\text{Н/м}$	$K_{\text{пр}} 10^{-3}$ Дарси	$\Delta\sigma_{\text{ф}}, \%$	$K_{\text{п}}$
Проба 1						
Раствор соляной кислоты	1,0	0,73	-0,380	50,0	3,0	-13,870
	3,0	0,73	-0,100	50,0	2,0	-10,950
	6,0	0,73	-0,065	50,0	5,0	-14,220
Раствор НТФ	0,5	0,73	0,252	50,0	80,0	4,700
	1,0	0,73	0,116	50,0	77,0	4,230
	2,0	0,73	0,000	50,0	24,0	0,000
Раствор карбамида	4,0	0,73	0,069	50,0	100,0	10,000
	6,0	0,73	-0,007	50,0	-1,5	-1,500
Проба 2						
Раствор соляной кислоты	1,0	2,42	0,400	1,0	66,0	0,970
	3,0	2,42	0,070	1,0	32,0	0,510
	6,0	2,42	0,051	1,0	30,0	0,738
Раствор НТФ	0,5	2,42	0,504	1,0	35,0	0,610
	1,0	2,42	0,368	1,0	25,0	0,890
	2,0	2,42	0,189	1,0	26,0	0,920
Раствор сульфосалициловой кислоты	1,0	2,42	0,100	1,0	41,0	0,242
	3,0	2,42	0,180	1,0	38,0	1,320
	5,0	2,42	0,040	1,0	34,0	0,485
Раствор карбамида	4,0	2,42	0,110	1,0	36,0	1,060
	6,0	2,42	-0,076	1,0	-15,0	-1,100
Проба 3						
Раствор соляной кислоты	1,0	0,57	-	19,0	-	-
	3,0	0,57	0,080	19,0	63,0	2,310
	6,0	0,57	0,120	19,0	80,0	7,800
Раствор НТФ	0,5	0,57	0,000	19,0	22,0	0,000
	1,0	0,57	0,740	19,0	72,0	4,000
	2,0	0,57	0,068	19,0	25,0	1,480
Раствор сульфосалициловой кислоты	1,0	0,57	-0,210	19,0	9,0	-2,260
	3,0	0,57	-0,028	19,0	30,0	0,900
	5,0	0,57	-0,017	19,0	35,0	-0,900
Раствор карбамида	4,0	0,57	0,160	19,0	19,0	6,930
	6,0	0,57	-0,060	19,0	19,0	3,900

На рис.3.7 представлена полученная совокупность значений $K_{п}$ и $\sigma_{сж}$. Как видно на интервале значений $K_{п} > -1$ зависимость между этими показателями может быть аппроксимирована прямой

$$\Delta\sigma_{\phi} = 12K_{п} + 27 \quad (3.5)$$

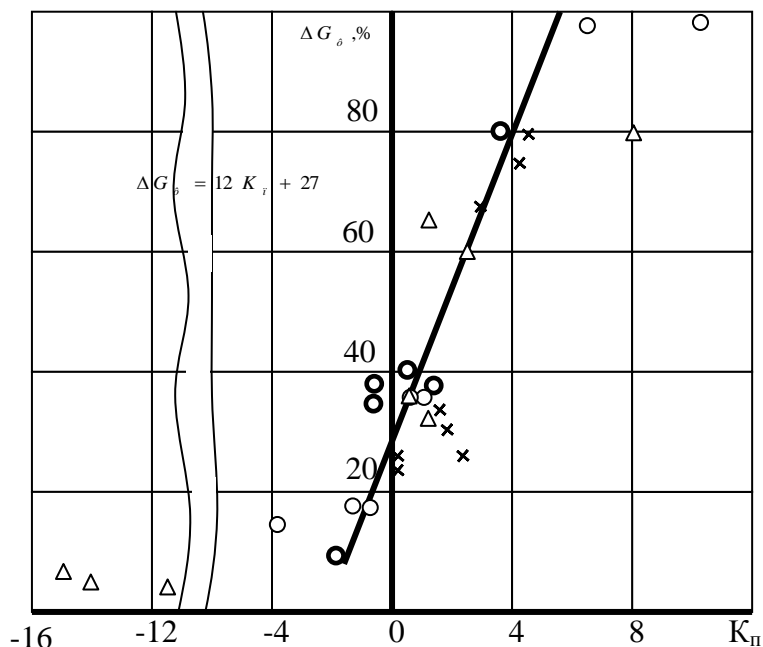


Рис. 3.7. График зависимости комплексным показателем ($K_{п}$) и снижением прочности пород ($\Delta\sigma_{\phi}$): Δ - раствор соляной кислоты; o - раствор сульфосалициловой кислоты; x - раствор комплексона; o - раствор карбамида

При этом коэффициент корреляции равен 0,82. Таким образом, выбор наиболее эффективных рабочих жидкостей необходимо осуществлять по критерию $\Delta\sigma_{\phi} \rightarrow \max$, что при определенных параметрах породы $K_{хмс}$ и $K_{пр}$ сводится к $q \rightarrow \max$.

Эффективность применения химически активных реагентов тем выше, чем больше произведение поверхностной активности раствора определенной концентрации (определяемом на данном песчанике) на величину этой концентрации.

Разработанный критерий выбора химически-активных реагентов применим как для кислот, так и для карбамида при требовании равномерного ослабления массива песчаника.

Высокие значения $K_{\text{п}}$ при прочих равных условиях связаны с положительной поверхностной активностью химически активных растворов на песчаниках Карагандинского бассейна. Для сравнения в табл.3.9 приведены значения поверхностной активности растворов, наиболее распространенных в горном деле ПАВ на песчаниках Карагандинского бассейна. Как видно, в отличие от химически активных реагентов растворы ПАВ в большинстве случаев характеризуется отрицательными значениями поверхностной активности, что свидетельствует о целесообразности их применения при ослаблении песчаников.

Таблица 3.9

Поверхностная активность ПАВ на песчаниках

Концентрация ПАВ, %	Проба 1	Проба 2	Проба 3
кеокол			
0,01	-14,0	-39,2	-65
0,03	-1,80	-1,90	-31,03
0,05	-6,1	0,56	-40,0
0,07	-1,0	-0,38	-38,0
0,1	-2,52	-4,76	-19,43
Сульфанол			
0,01	-4,2	-4,2	-133,6
0,03	-49,0	-49,0	-37,4
0,05	-2,88	-2,88	10,6
0,07	7,70	-7,55	-10,6
0,10	-0,82	-0,80	1,3
ППК-30			
0,01	-12,4	-46,0	-13,3
0,03	-30,6	-26,4	-32,3
0,05	2,4	1,0	-13,3
0,07	-3,5	-3,0	-9,7
0,10	-8,0	-5,50	1,2

Установлено, что процесс снижения прочности песчаников при использовании химически активных растворов основан на эффекте хемосорбции растворенного реагента в поровом объеме.

Чем выше значение поверхностной активности раствора, тем больше преобладает процесс сорбции растворенного химически активного реагента над сорбцией растворителя – воды. Концентрация раствора количественно определяет процесс хемосорбции.

3.7. Разработка рекомендации по применению химически активных растворов для ослабления прочности крепких песчаных горных пород

Для выбора рабочей жидкости и ее концентрации определяет предел прочности на сжатие ($\sigma_{сж}$); коэффициент проницаемости песчаника ($K_{пр}$); показатель химико-минералогического состава ($K_{хмс}$). Схема выбора приведена на рис. 3.8.

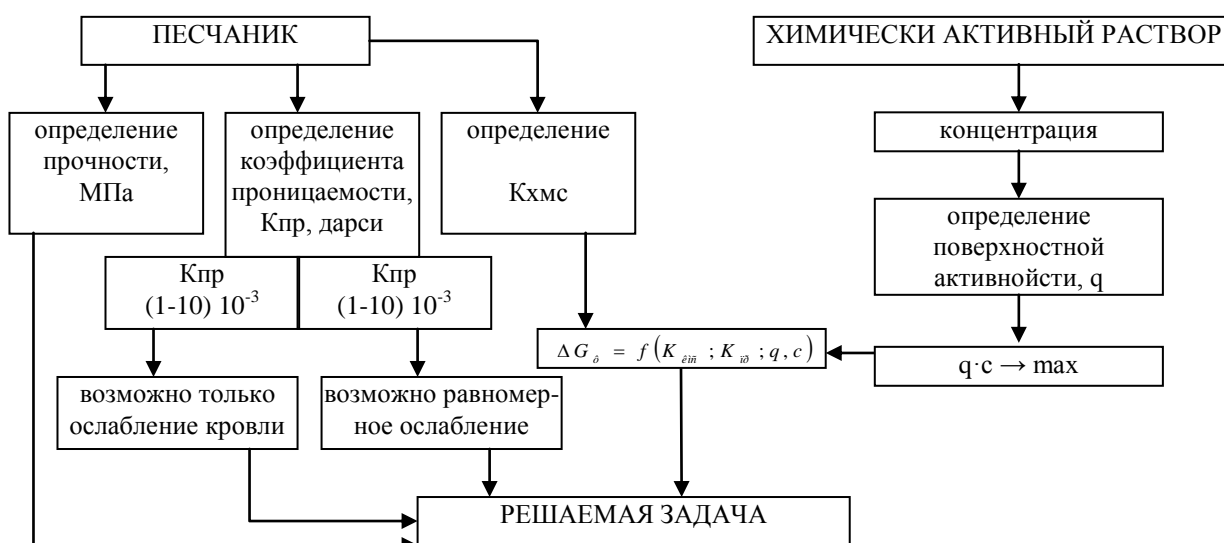


Рис. 3.8. Схема выбора химически активного раствора для ослабления песчаников

Коэффициент проницаемости песчаника определяет возможности ослабления. При $K_{пр} < 1 \cdot 10^{-3}$ Дарси возможно насыщение массива только в режиме, превышающем его проницаемость, т.е. только разупрочнение

труднообрушаемой кровли. Для обработки таких песчаников необходимо применение методов интенсификации процесса влагонасыщения. При $K_{пр} < 1 \cdot 10^{-3}$ Дарси возможно равномерное ослабление песчаника химически активными растворами.

Следует отметить, что коэффициент проницаемости связан с типом цементации песчаника. Так при базальном типе цементации $K_{пр}$ как правило менее $1 \cdot 10^{-3}$ Дарси.

Окончательный выбор реагента осуществляется путем определения максимально возможной величины произведения концентрации раствора на поверхностную активность данного раствора на ослабляемую породу. Условия применения раствора имеют вид

$$\Delta\sigma = f(K_{пр}; K_{хмс}; q; c) \geq \Delta\sigma \text{ необходимое}$$

В соответствии с разработанной схемой проведен выбор химически активных реагентов и их концентраций (табл. 3.10) для ряда песчаников Карагандинского бассейна.

Таблица 3.10

Оптимальные химически активные реагенты и их концентрации для ослабления некоторых песчаников в Карагандинском бассейне

Наименование проб	Коэффициент проницаемости 10^{-3} Дарси	Реагент	Оптимальная концентрация реагента
Проба 1	50	НТФ	0,1
		Карбамид	4,0
		Сульфосалициловая кислота	3,0
Проба 2	19	Карбамид	4,0
		НТФ	1,0
		Соляная кислота	6,0
Проба 3	20	карбамид	2,
Проба 4	21	карбамид	2,0
Проба 5	26	карбамид	2,0
Проба 6	18	карбамид	2,0
Проба 7	27	карбамид	2,0
Проба 8	1,0	Соляная кислота	0,5*
Проба 9	15	Соляная кислота	2,0

* - возможно только разупрочнение кровли

Выводы по главе 3

1. Установлена закономерность изменения прочности песчаных горных пород в зависимости от химико-минералогических компонентов. Также установлено, что прочность крепких песчаных пород в первую очередь зависит от содержания в них соединения кальция, а также магния и железа. Наличие соединения алюминия свидетельствует о присутствии в породе глин, которые ослабляют связь между минералами.

2. Установлено, что критерием выбора химически активного раствора и его концентрации является произведение концентрации раствора на поверхностную активность этого раствора на ослабляемом песчанике. Чем выше это произведение, тем более эффективен реагент. При этом поверхностная активность раствора должна быть положительна.

3. Эффективность применения химически активных растворов основана на преобладании процесса адсорбции растворителя (воды) в поровом объеме песчаника.

4. Разработаны рекомендации по применению химически активных растворов для ослабления прочности песчаников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В научно-исследовательской выпускной квалификационной работе на основе выполненных исследований дано решение научно-технической задачи разработки взрывной технологии проходки горизонтальных подземных горных выработок предварительным ослаблением прочности крепких горных пород растворами ПАВ, обеспечивающих снижения затраты на бурения и ВВ.

Основные научные результаты выпускной квалификационной работы, практические выводы и рекомендации заключается в следующем.

1. Ослабление прочности массива крепких песчаных пород осуществляется химическим методом с применением раствора ПАВ, научная новизна, которой заключается в выявлении критериев в виде произведения концентрации раствора на величину поверхностной активности раствора.

2. Изменение прочности крепких песчаных пород зависит от химико-минералогических компонентов, в первую очередь от содержания в них соединения кальция, магния и железа. Наличие соединений алюминия свидетельствует о присутствии в песчаных породах глин, которые ослабляют связь между минералами

3. Установлены закономерностей снижения прочности массива крепких песчаных пород под действием химических растворов с учетом его химико-минералогического состава, состава реагента и их концентрации, позволяющей повысить эффективность проведения подземных горных выработок и снижение удельного расхода бурения и ВВ.

4. Установлено, что под воздействием рабочих жидкостей водных растворов соляной, нитрилотриметилфосфоновой, сульфосалициловой кислоты и карбамида прочность крепких песчаных горных пород снижается на 40-60%. Наилучшей рабочей жидкостью для ослабления прочности крепких песчаных пород с глинисто-карбонатным цементом является раствор карбамида концентрацией 2-4%; для песчаников с карбонатно-глинистым

цементом – растворы сульфосалициловой кислоты – 3%, соляной кислоты – 0,5% и нитрилотриметилфосфоновой кислоты – 0,1%.

5. Разработан и внедрен способ ослабления прочности массива песчаных горных пород химическим методом с использованием раствора карбамида с концентрацией 2%, которые позволили снизить прочность массива на 40-60%, что обеспечило улучшение показателей работы очистного забоя с достижением средней добычи до 1235 т/сутки.

6. Определены эффективные параметры способа ослабления прочности крепких песчаных горных пород, на основе которого разработана рекомендация труднообрушаемой кровли.

7. Исследованиями установлено, что способ ослабления прочности песчаных горных пород с использованием рабочей жидкости раствора карбамида с концентрацией 2% при проведении подготовительной выработки проходческим комбайном ГПК позволил снизить их прочность с 60-80 МПа до 36-48 МПа, что позволило пройти выработку комбайном с темпами до 3 м/сутки.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.С. 311011 СССР. Способ управления труднообрушаемой кровлей в очистных забоях. /Ю.А.Семенов, А.К.Бекбулатов, Э.М.Рустамов. – Оpubл. в Б.И., 1968, №24.
2. Временная инструкция по выбору способов и параметров разупрочнения труднообрушаемой кровли на выемочных участках. – Л.: ВНИМИ, 1971, - 201 с.
3. Руководство по применению способа управления труднообрушаемыми кровлями гидрообработкой породного массива в Печерском бассейне. – Воркута, 1975. – 56 с.
4. Гусельников П.М., Шишкин В.П., Кретов П.И. и др. Управление труднообрушаемой кровли путем гидрообработки породного массива. – Безопасность труда в промышленности, 1974, № 7, с. 32.
5. Ходжаев Р.Ш. Совершенствование схем подготовки шахтных полей в сложных горно-геологических условиях и методы их оценки. Л.: Обзор/ЦНИЭМуголь, 1980. – 41 с.
6. Переход геологических нарушений механизированными комплексами в Донбассе: Обзор/Технология добычи угля подземным способом. – М., 1977, с.23.
7. Кусов Н.Ф., Мендели Э.О. Режимы ударно-поворотного бурения. М.: Недра, 1968, с 72.
8. Гедеванов А.К. Оценка производительности проходческих комбайнов. – Уголь, 1979, № 12, с.35-36.
9. Кузнецов Ю.С., Ганзен Г.А. Совершенствование способов разрушения пород при проведении горных выработок. Обзор/ЦНИЭИуголь. М., 1976. – 23 с.
10. Кильва Э.Э. и др. Основные направления развития технологии и механизации горно-подготовительных работ. Обзорная информация, № 9 – М.: ЦНИЭИуголь, 1983, с.45.

11. Барон Л.И., Глатман Л.Б., Губенков Е.К. Разрушение горных пород проходческими комбайнами. – М.: Недра, 1968.
12. Бекбулатов А.К., Ибраев К.С., Атыгаев Д.К. Исследование влияния различных горно-геологических факторов на работу механизированных крепей при труднообрушаемой кровле. – В кн.: Технология и механизация мощных пологих пластов. Караганда, КНИУИ, 1979, вып.56.
13. Трескен К. Комбайновая проходка горизонтальных выработок. – Глюкауф, 1970, № 6, с. 18-24.
14. Базер Я.И., Крутилин В.И. Зарубежные проходческие комбайны. – М.: ЦНИЭИуголь, 1974, с.38.
15. Кобранова В.Н. Физические свойства горных пород. – М.: Гостопиздат, 1962, с. 490.
16. Ржевский В.В. Физико-технические параметры горных пород. – М.: Недра, 1975, с.211.
17. Бок И.И. Основы рудной геологии. – А.-Ата: Наука КазССР, 1970, с.431.
18. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1978, с. 390.
19. Павлова И.И. Деформационные и коллекторские свойства горных пород. – М.: Недра, 1975, с.239.
20. Барон Л.И., Логунцов Б.М., Позин Е.З. Определение свойств горных пород. – М.: Госгортехиздат, 1962, с.331.
21. Критский В.В. Краткий курс минералогии, кристаллографии и петрографии. – М.: Углетехиздат, 1949, с. 265.
22. Шрейнер Л.А., Байдюк Б.В., Павлова Н.Н. и др. Деформационные свойства горных пород при высоких давлениях и температурах. – М.: Недра, 1968, с.358.
23. Протодьяконов М.М. Свойства породообразующих минералов и их электронное строение. – М.: Наука, 1965.
24. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород. – М.: Высшая школа, 1973, с.198.

25. Белоусова О.Н., Михина В.В. Общий курс петрографии. – М.: Недра, 1972, с.340.
26. Брэгг У. Кларингбулл Г. Кристаллическая структура минералов. – М.: Мир, 1967. – 390 с.
27. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. – М.: Гостехиздат, 1961. – 363 с.
28. Стадников Г.П. Глинистые породы. – М.: АН СССР, 1957. – 376 с.
29. Смирнова Н.В. Типы цемента и влияние их на проницаемость песчаных пород. – Геология нефти и газа, 1959, № 7, с.33-39.
30. Смирнова Н.В., Якушев В.П. Свойства коллекторов песчаного типа на больших глубинах. – М.: Наука, 1969. – 84 с.
31. Клубова Т.Т. Влияние глинистых примесей на коллекторские свойства песчано-алевритистых пород. – М.: Наука, 1970. – 114 с.
32. Эдельштейн И.А., Юдин Н.П., Цой П.М. Исследование физико-механических свойств горных пород Карагандинского бассейна. – В кн.: Вопросы механизации в горной промышленности. Сб. научн. тр., Кагаранда, 1971, вып.27, с. 165-178.
33. Дортман Н.Б. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. – М.: Недра, 1984, с. 485.
34. Брод И.О., Еременко Н.А. Основы геологии нефти и газа. – М.: МГУ, 1953, с.138-147.
35. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. – М.: Мир, 1970.
36. Грим Р. Минералогия и практическое использование глин. – М.: Мир, 1967, с.502.
37. Круглицкий Н.Н. Физико-химические основы регулирования свойств дисперсий глинистых минералов. – Киев: Наукова думка, 1968, с.520.
38. Куковский Е.Г. Особенности строения и физико-химические свойства глинистых минералов. – Киев: Наукова думка, 1966, с.127.

- 39.Бабалян Г.А., Кравченко И.И., Мархасич И.Л. Физико-химические основы применения поверхностно-активных веществ при разработке нефтяных пластов. – М.: Гостоптехиздат, 1968. – 283 с.
- 40.Оберт Л. Хрепкое разрушение горных пород. – М.: Мир, 1976.
- 41.Докукин А.В. Основные проблемы горной науки. – М.: Недра, 1980, с. 365.
- 42.Войтенко В.С. Управление горным давлением при бурении скважин. – М.: Недра, 1985 – с. 181.
- 43.Барон Л.И., Логунцов Б.М. Анализ различных способов разрушения горных пород применительно к созданию, породопроходческих комбайнов. – М.: ЦИТИУгля, 1962.
- 44.Сулакшин С.С. Современные способы разрушения горных пород при бурении. – М.: Недра, 1964.
- 45.Адамидзе Д.И. Разрушение углей и пород сжатым воздухом. – М.: Наука, 1978.
- 46.Миндели О.Э. Разрушение горных пород. – М.: Недра, 1974.
- 47.Бескаравайный В.Г., Морозов Г.И., Алексеев Ю.И. Управление труднообрушаемыми кровлями. – Уголь, 1979, № 2, с. 31-33.
- 48.Гончаров В.А., Журавлев В.П. и др. Предварительное увлажнение угольных пластов. – М.: Недра, 1974, с.208.
- 49.Панов Г.Е. Предварительное увлажнение массивов на угольных шахтах и карьерах. – М.: Недра, 1970, с.129.
- 50.Добрецов В.Б. Понижение прочности свойств горных пород глубокими охлаждениями. – В сб. Научные труды Московского института радиоэлектронной и горной электромеханики. – М., 1965, с.13-15.
- 51.Герш С.Я. Глубокое охлаждение. – М.-Л.: АН СССР, часть 2, с.60.
- 52.Кравченко В.С. и др. Электро-термическое разупрочнение диэлектрических горных пород при диэлектрическом нагреве. В кн.: Новые физические методы разрушения минеральных сред. – М.: Недра, с. 87-92.

53. Арш Э.И. Применение токов высокой частоты в горном _____. – М.: Недра, 1967, с.309.
54. Пархоменко Э.И. Бондаренко А.Т. Электропроводность горных пород при высоких давлениях и температурах. – М.: Наука, 1972, с.278.
55. Ржевский В.В., Протасов Ю.И. Электрическое разрушение горных пород. – М.: Недра, 1972, с.205.
56. Кузьяев Л.С. Моделирование разрушения горных пород. Под ред. Кутузова Б.Н. Учебное пособие. – М.: МГИ, 1972, с. 144.
57. Захаров Ю.Н. и др. Применение лазерной техники в горном деле. – М.: ЦНИЭИуголь, 1974, с.41.
58. Шанников Е.В. Исследование воздействия лазерного воздействия на прочностные свойства горных пород с целью оценки экспертизы применения лазеров при проведении горных выработок. Авторефер. дисс. на соиск. учен. степени канд.тех.наук. – М., 14 с.
59. Арекс В.Н. Геотехнические методы добычи полезных ископаемых. – М.: Недра, 1975, с.98.
60. Кусов Н.Ф. Эдельштейн О.А., Шоболова Л.П. Новые способы и средства разрушения (ослабления) горных пород и угля. М.: ЦНИЭИуголь, Обзор, 1978, с.31.
61. Менковский М.А. Химия в угольной промышленности. – М.: Госгортехиздат, 1960, с.286.
62. Логинов В.Г. Интенсификация добычи нефти методом кислотной обработки. – М.: Госгортехиздат, 1951, с.247.
63. Калимов Ю.И. и др. Изменение прочностных свойств горных пород под воздействием химических реагентов. – Уголь, 1979, № 1, с. 10.
64. Бурдынь Т.А., Закс Ю.Б. Химия нефти, газа и пластовых вод. – М.: Недра, 1975, с.216.
65. Ребиндер П.А., Щукин Е.Д. Поверхностные явления в твердых телах в процессах их деформаций и разрушения. 1979, вып.108, №1, с.3-42.

- 66.Ребиндер П.А. Венстрем Е.К. Электрокапиллярный эффект понижения твердости металлов. – ЖФХ, 1945, в.19, №1-2, с.1-14.
- 67.Ребиндер П.А. Шрейдер Л.А., Жигач К.Ф. Понизители прочности в бурении. М.-Л.: АН СССР, 1944, с.195.
- 68.Шрейдер Д.А., Жигач К.Ф. Бурение шпуров с промывкой и добавкой понизителей прочности. – М.-Л. АН СССР, 1943.
- 69.Зимон А.Д. Адгезия и смачивание. – М.: Химия, 1974, с.416.
- 70.Лопаткин А.А. Теоретические основы физической адсорбции. – М.: МГУ, 1983, с. 344.
- 71.Горюнов Ю.П. Эффект Ребиндера. – М.: Недра, 1966, с. 126.
- 72.Николаев Л.А. Физическая химия. – М.: Высшая школа, 1964, с.381.
- 73.Ребиндер П.А. Поверхностные явления и адсорбция. – М.: Госгортехиздат, 1932, с.520.
- 74.Эдельштейн О.А., Шоболова Л.П. О воздействии поверхностно-активных веществ на горные породы.
75. Щербак Н.И. Химические растворы для понижения прочности пород. – Уголь Украины, 1984, № 6, с. 15-17.
- 75.Щербак Н.И. О влиянии пропитки пород химическими растворами на эффективности проведения выработок. – Уголь Украины, 1983, с.25-27.
- 76.Алексеев А.Д. Недодаев Н.В. предельное состояние горных пород. – Киев: Наукова думка, 1982, с. 200.
- 77.Гращенко Н.Ф., Суслов В.В., Кремер Ф.Ф. Борьба с пылью в породных забоях. – М.: ЦНИЭИуголь, 1977, с.26.
- 78.Дихтяр А.А. и др. Разрушение крепких горных пород применением поверхностно-активных веществ. – В сб.: Механика и разрушение горных пород. – Киев: Наукова думка, 1974, вып.2.
- 79.Таран Р.Н., Дудла Н.А. Факторы интенсивности процесса бурения горных пород при воздействии на них ПАВ. – В кн.: Механика и разрушение горных пород. – Киев: Наукова думка, 1975, вып.3, с.103-105.

80. Арш Э.И., Вигорт Г.К., Черкасский Ф.Б. Новые методы дробления горных пород. – Киев: Наукова думка.
81. Глембоцкий В.А. Основы физико-химии флотационных процессов. – М.: Недра, 1980, с.471.
82. Киреев В.А. Курс физической химии. – М.: Химия, 1975, с.602.
83. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1975, с.612.
84. Дулицкая Р.А., Фельдман Р.И. Практикум по физической и коллоидной химии. – М.: Высшая школа, 1978, с.296.
85. Королева В.Н., Муравьева В.М., Редин А.А. Влияние водных растворов комплексонов на растворение минералитов части угля – В кн. Управление состоянием угленосной толщи. – МГИ, М., 1982, с.49-51.
86. Кабачник М.И., Медведь Т.Я., Дятлова Н.М. и др. Фосфорорганические комплексоны. – Успехи химии, АН СССР, 1974, т.12, вып.9, с. 1564-1571.
87. Кабачник М.И., Медведь Т.Я., Дятлова Н.М. и др. Фосфорорганические комплексоны. – Успехи химии, АН СССР, 1968, т. XXXVII, вып.7, с. 1161-1191.
88. Дятлова Н.М., Темкина В.Я., Колпакова И.Д. Комплексоны. – М.: Химия, 1970, с.308.
89. Краткая химическая энциклопедия, т. III, 1964, т. V, 1967, - М.: Советская энциклопедия.
90. Сердюк В.В. Связь энергии гидратации со свойствами насыщенных растворов в системах вода-мочевина-электролит – ЖФХ, 1980, т. IV, вып.1, 177 с.
91. Колосов В.И., Гончарова Т.О. К вопросу об уточнении кислотно-основных характеристик монтмориллонита и каолинита. – ЖФХ, 1980, т. XV, вып.1, с.1547.
92. Зотов А.Т. Мочевина. – М.: Гостоптехиздат, 1963, с.175.
93. Крам Д., Хэммонд Дж. Органическая химия. – М.: Мир, 1974, с.714.
94. Патент № 3508613 США Химическая дезагрегация породы, содержащей глинистые минералы. / Оpubл. в Official Gazette, 26.04.1970.

95. Викулова М.Ф. О новейших методах исследований глинистых минералов. – Труды Всесоюзн. сов. работ минералогопетрограф. лабор. – М.: Госгеолтехиздат, 1955, с.20-27.
96. Водонеева Н.Е., Викулова М.Ф. Метод исследования глинистых минералов с помощью красителей и его применение в литологии. – М.: Госгеолиздат, 1952, с.58.
97. Васильев П.И. Ускоренный анализ карбонатных пород. – М.: Госгортехиздат, 1952, с.253.
97. Инструкция по эксплуатации прибора – пробника БУ-39. – Л.: ВНИМИ, 1974, с.26.
98. Прибор для определения открытой по воздуху пористости образцов горных пород СПВ-2. Паспорт СПВ-2.00.000 ПС. ТУ 25 04-696-73, с.27.
99. Метод определения содержания влаги. ГОСТ 11014-70. – М.: Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1970.
100. Наставление по применению прибора ИВ-5М. – М.: ВНИИ Геофизика, 1973, с.12.
101. Инструкция по выбору способа и параметров разупрочнения кровли на выемочных участках. – Л.: ВНИМИ, 1982, 170 с.